SÉRIE E.
N° D'ORDRE
29

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE STRASBOURG

POUR OBTENIR LE GRADE

DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

le P. HENRY DERVILLE

DE LA COMPAGNIE DE JÉSUS

Assistant délégué de Pétrographie
à l'Institut des Sciences Géologiques de Strasbourg,
Collaborateur au Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine.

PREMIÈRE THÈSE

LES MARBRES DU CALCAIRE CARBONIFÈRE EN BAS-BOULONNAIS.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le 8 JUIL 1931 *devant la Commission d'Examen.*

MM. J. de LAPPARENT *président.*
L. BOUNOURE
H. CHERMEZON } *examinateurs.*

STRASBOURG
IMPRIMERIE O. BŒHM
1931

SÉRIE E.
N° D'ORDRE
29

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE STRASBOURG

POUR OBTENIR LE GRADE

DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

le P. HENRY DERVILLE

DE LA COMPAGNIE DE JÉSUS

Assistant délégué de Pétrographie
à l'Institut des Sciences Géologiques de Strasbourg,
Collaborateur au Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine.

PREMIÈRE THÈSE

LES MARBRES DU CALCAIRE CARBONIFÈRE EN BAS-BOULONNAIS.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le 9 JUIL 1931 *devant la Commission d'Examen.*

MM. J. de LAPPARENT *président.*
L. BOUNOURE
H. CHERMEZON } *examinateurs.*

1931

UNIVERSITE DE STRASBOURG

FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen : M. E. ROTHÉ, Professeur de Physique du Globe.
Doyens honoraires : MM. E. BATAILLON, P. TH. MULLER.
Professeurs honoraires : MM. FRÉCHET, G. FRIEDEL, GAULT, GIGNOUX, H. VILLAT.

Professeurs:

MM.	G. VALIRON	Analyse supérieure
	P. WEISS	Physique générale
	H. OLLIVIER	Physique générale
	L. HACKSPILL	Chimie minérale
	E. TOPSENT	Zoologie et anatomie comparée
	C. HOUARD	Botanique
	E. TERROINE	Physiologie générale
	J. de LAPPARENT	Minéralogie et Pétrographie
	E. CHATTON	Biologie générale
	R. THIRY	Mécanique
	G. CERF	Calcul différentiel et intégral
	G. DUBOIS	Géologie et Paléontologie
	G. RIBAUD	Physique expérimentale
	P. FLAMANT	Mathématiques générales
	E. CORNEC	Chimie générale
	M. FAILLEBIN	Chimie organique
	P. de BEAUCHAMP	Biologie générale
	L. BOUNOURE	Zoologie
	G. FOEX	Physique générale
	H. CHERMEZON	Botanique
	G. REMPP	Physique du Globe
	R. ROMANN	Chimie Physique et électrochimie
	J. LACOSTE	Physique du Globe
	H MILLOUX	Mathématiques
	N.	Astronomie

Chargés de cours et Maîtres de conférences:

MM.	Ch. STÆHLING	Chimie appliquée
	G. HUGEL	Chimie du Pétrole
	H. WEISS	Physico-chimie du Pétrole
	A. ROUSSEL	Mathématiques générales
	P. SOLEILLET	Physique mathématique
	R. BONNET	Physique et chimie biologiques
	G. MIGNONAC	Chimie appliquée
	N.	Minéralogie
	N.	Botanique

Secrétaire: M. G. CUVIER.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

A LA MÉMOIRE

DE

FEU MON PÈRE

le DOCTEUR LÉON DERVILLE

Ex-Interne des Hôpitaux de Paris,

Professeur à la Faculté Libre de Médecine de Lille,

Chevalier de l'Ordre Pontifical de Saint Grégoire-le-Grand.

A MA MÈRE

En témoignage de filiale tendresse et de reconnaissance, je dédie cet ouvrage.

Après Dieu,

c'est d'eux que je tiens le meilleur de moi-même.

A MON CHER MAITRE

M. LE PROFESSEUR J. DE LAPPARENT

ma cordiale affection
et l'expression de ma vive gratitude.

AVANT-PROPOS

Ce travail est le résultat de cinq années de recherches environ, recherches sur le terrain et surtout recherches microscopiques en laboratoire. Commencé en novembre 1925, *il fut achevé en juin* 1930.

Nul ne s'étonnera de cette longue élaboration, de ceux-là qui comprennent quelque chose au travail scientifique, qui savent combien de travaux préalables précèdent la composition: recherches sur le terrain, longues et limitées à l'époque des grandes vacances, — étude des matériaux, choix et taille des échantillons, — observations microscopiques souvent multiples pour un détail, — bibliographie etc..... — qui, impartiaux, tiennent compte des multiples occupations au milieu desquelles ce travail fut entrepris et élaboré, occupations qui ressortent du reste de mes devoirs professionnels d'Assistant de Pétrographie à l'Université de Strasbourg, et de Directeur d'œuvre de jeunesse.

Il faudrait ajouter que, forcé par les circonstances à changer d'orientation scientifique, il m'a fallu, en arrivant à Strasbourg, tout apprendre de la technique spéciale à l'observation microscopique en lumière polarisée, tout apprendre de la Pétrographie dans laquelle je n'avais pas le moindre commencement.

Je le dirai donc, et personne ne m'en voudra, j'espère, de cette profession de foi scientifique: Biologiste je suis, biologiste je mourrai!

J'ai gardé mes préférences pour cette discipline qui charma mon jeune âge et à laquelle j'avais consacré, par goût naturel et avec les encouragements de mes Supérieurs, tous mes loisirs et les promenades de mes longues années d'études philosophiques et théologiques. Avant de pouvoir me donner directement aux recherches personnelles, j'ai longtemps travaillé, avec entier désintéressement, pour plusieurs de mes confrères. Quelques-unes de ces premières relations scientifiques m'ont laissé des joies sans mélange et qui ne périront pas.

Le premier savant qui sut découvrir en moi le goût pour la science et les qualités d'observation indispensables, qui sut m'intéresser à ses travaux et m'attacher à sa personne par ses qualités naturelles fut le R. P. PANTEL, de la Compagnie de Jésus. Je m'en voudrais de ne pas saluer ici sa mémoire, comme on salue celle d'un savant de réputation mondiale, humble et désintéressé, celle d'un ami plein de sympathie, qui savait la montrer, qui excellait à reconnaître le mal qu'on se donnait pour lui et qui ne l'oubliait pas. Le P. PANTEL reste pour moi le compagnon de route et le confident de tous les instants ; son seul souvenir fait tout le ressort de ma vie scientifique.

A son souvenir est lié, dans mon existence, celui du R. P. BOULE s. j., actuellement Directeur de l'Ecole d'Agriculture de Purpan. C'est lui qui, dans son laboratoire de Gemert (Hollande), m'a initié aux études histologiques ; je lui dois une part de ma formation scientifique et suis heureux de pouvoir lui témoigner officiellement toute ma gratitude.

Ce mémoire fut, tout entier, conçu et exécuté au Laboratoire de Pétrographie de l'Université de Strasbourg, sous la bienveillante direction de M. le Professeur J. de LAPPARENT et dans les meilleures conditions de liberté et d'indépendance scientifiques.

Il me plaît de reconnaître ici tout ce que je dois à mon cher Maître, le Professeur J. de LAPPARENT. C'est grâce à lui que ce travail a pu voir le jour ; il a tout mis en œuvre pour me faciliter ma tâche parfois très ardue : sa haute compétence scientifique, sa direction bienveillante et toute de largeur d'esprit, les conditions matérielles enfin de recherches et de travail. Qu'il veuille trouver ici le témoignage de ma gratitude et de ma reconnaissance ; toutes deux me survivront et survivront à ce travail dont j'ai tenu à lui dédier les prémices.

Je remercie M. Emmanuel de MARGERIE, Directeur du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine, de l'honneur qu'il m'a fait en me choisissant au nombre de ses collaborateurs. Je suis très touché de ce témoignage d'estime et du cordial accueil que j'ai toujours reçu dans son service où bibliothèque et documents m'ont été d'un précieux secours.

Envers M. Pierre PRUVOST, Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille, j'ai une large dette de reconnaissance pour sa cor-

dialité de tous les instants et l'intérêt qu'il n'a cessé de témoigner pour mes recherches et l'élaboration de mon travail. Je lui dois, je le dirai dans le cours de mon mémoire, des documents de première valeur qui m'ont permis bien des observations ; avec un entier désintéressement scientifique (qui est chose peu commune, il faut le dire), il a mis à ma disposition ses documents personnels touchant le Calcaire carbonifère du Boulonnais. Je le prie d'agréer ici l'expression de mes remerciements et de ma cordiale sympathie.

De mes relations avec M. Charles BARROIS, Professeur honoraire à la Faculté de Lille et Membre de l'Institut, j'ai gardé le plus délicieux souvenir. C'est devant lui que j'ai passé, il y a bien longtemps déjà, mon certificat de Géologie.... ce premier contact s'est vite mué en une cordialité qui ne s'est jamais démentie et dont je lui sais gré.

Enfin, c'est avec M. le Chanoine DELEPINE que j'ai commencé mes études de licence et c'est lui qui m'a fait prendre contact avec le terrain, il y a de longues années. J'étais alors biologiste et rien ne me faisait prévoir l'orientation d'aujourd'hui. Tout le monde sait sa vaste érudition et reconnaît sa haute compétence touchant le Calcaire carbonifère ; je lui dois l'intérêt que j'ai porté à cet étage et, par contre-coup, la conception de ce travail.

Je remercie ceux de mes Supérieurs qui ont encouragé mes débuts et mes efforts dans la carrière scientifique et qui ont consenti les sacrifices financiers indispensables pour que ce travail pût aboutir.

Je remercie les exploitants des carrières du Bas-Boulonnais et tout particulièrement M. HENAUX, Directeur, et M. ADMONT, Chef de service à la marbrerie des Carrières du Haut-Banc et de la Vallée Heureuse, M. POULAIN, Directeur de la Carrière des Marbres du Boulonnais et M. FONTAINE, Chef de service à la marbrerie. En me laissant la plus libre circulation sur les chantiers et dans les ateliers, tous ont grandement facilité mes recherches. M. HENAUX et M. POULAIN ont voulu faire plus et contribuer à l'illustration de ce travail ; qu'ils daignent agréer l'expression de ma reconnaissance.

La Société d'encouragement aux Hautes-Etudes dans le clergé et la Caisse des recherches scientifiques m'ont voté une subvention pour alléger quelque peu les lourdes charges que m'occasionnent l'impression et

l'illustration de ce mémoire. Qu'elles soient assurées de ma vive gratitude ainsi que tous ceux qui se sont employés à m'obtenir ces subsides.

Bien que ce travail soit, dans toutes ses parties (texte, dessins, photographies) mon œuvre, j'ai dû, pour quelques rares dessins et pour quelques photographies de marbres, faire appel à plus compétent. Merci donc à ceux qui ont mis à mon service leurs talents divers: pour certains dessins de texte, j'ai eu recours à M. Ernest SCHMITT, dont le crayon et les pinceaux sont bien connus, à Mᵉ ADNOT, Préparateur à la Faculté de Pharmacie de Strasbourg, dont j'ai mis à l'épreuve l'inépuisable complaisance, et à M. G. FRICKER — pour certaines reproductions de marbres, à M. HUBER, Technicien au service du Laboratoire de Géologie de Strasbourg, dont la compétence en matière photographique et le dévouement m'ont été précieux.

A tous, je dis un cordial merci.

Strasbourg, août 1930.

INTRODUCTION.

LE BAS-BOULONNAIS.

LE SYSTÈME CARBONIFÈRE, SON HISTORIQUE.

APERÇU SUR SA TECTONIQUE.

I. — LE PAYS BOULONNAIS.

Quand, de Calais, on se dirige vers Boulogne-sur-mer en suivant la voie ferrée, on roule, à partir des dépôts modernes de la plaine maritime flamande, sur des terrains de plus en plus anciens. La surface du sol s'élève progressivement pour aboutir, en gare de Caffiers, à une ligne de hauteurs constituée par la *craie blanche.* C'est le *Haut-Boulonnais,* qui forme une ceinture continue, et limite au nord, à l'est et au sud une région déprimée et mamelonnée qu'on est convenu d'appeler le *Bas-Boulonnais;* cette région s'incline légèrement vers l'ouest où elle est limitée par la Manche. Un escarpement d'environ 100 mètres, taillé dans la craie, sépare le Bas-Boulonnais du Haut-Boulonnais; cet escarpement est le vestige d'une ancienne couverture de craie, en forme de voûte anticlinale, qui s'étendait sur tout le pays. L'érosion a entamé

cette immense calotte, l'a décapée et y a fait naître une boutonnière à travers laquelle on observe les terrains antérieurs à la craie; ces terrains s'étagent en ordre d'ancienneté décroissante du nord au sud.

Le Bas-Boulonnais.

Le Bas-Boulonnais, au point de vue minéralogique, est un pays d'exploitation marbrière et houillère: les marbres font actuellement la richesse de ce petit pays; grâce à la présence de la houille, des recherches profondes ont été effectuées dans cette région et ont contribué à étendre nos connaissances sur la constitution du sous-sol.

On n'y distingua longtemps que deux séries sédimentaires, l'une (jurassique), qui débutait par un calcaire jaune oolithique célèbre dans le pays sous le nom de « Pierre de Marquise », s'étend de Marquise en direction du sud; l'autre (le terrain ancien, infra-oolithique), débutant par un conglomérat et comprenant tout un complexe de schistes, de grès, de calcaires, de dolomies et de houille, s'étend au nord de Marquise entre cette localité et la côte crayeuse de Caffiers qui limite au nord le Bas-Boulonnais.

Situé à mi-chemin entre l'Angleterre et la Belgique, le Bas-Boulonnais devait à la fois pâtir et bénéficier de ce double voisinage. Une étude comparative trop étroite des terrains de même âge connus et étudiés de l'autre côté de la Manche, où le Carbonifère et le Silurien sont séparés par une masse puissante de grès (Old Red Sandstone du Dévonien), entrava les esprits en quête de lumière. Dans ce complexe où « le Calcaire carbonifère et le calcaire de transition ou Silurien étaient, ou confondus, ou mal définis » [1], DE VERNEUIL fut le premier à établir une coupure et à « distinguer dans les formations anciennes du Bas-Boulonnais deux terrains dont la stratification et la nature minéralogique ne diffèrent pas, mais qui se séparent entièrement l'un de l'autre par leurs fossiles, savoir, le terrain carbonifère et le terrain de transition supérieur ou système silurien » [2].

DE VERNEUIL basait son argumentation sur un double fait paléontologique. Il faisait remarquer, lors de la réunion extraordinaire de la Société géologique de France à Porrentruy (du 5 au 12 septembre 1838), que si, en Angleterre, où les deux terrains silurien et carbonifère (moun-

1. DE VERNEUIL. — Note sur les terrains anciens du Bas-Boulonnais — *Bull. Soc. géol. France*, 1re Série, 9, 1837-1838, p. 389.
2. DE VERNEUIL. — loc. cit., p. 395.

tain limestone) sont séparés l'un de l'autre par une puissante masse de grès, il n'y a pas une seule espèce qui passe du système silurien dans le mountain limestone, — en Belgique et en France, où, par contre, les deux calcaires sont presque en contact et ne sont séparés que par quelques assises de grès que l'on ne retrouve pas partout, les espèces carbonifères diffèrent presque toutes des espèces siluriennes, et qu'il n'y a qu'un très petit nombre d'espèces communes.

La lumière devait venir du continent et de la Belgique en particulier. MURCHISON (1840), après une étude comparative détaillée des roches dévoniennes d'Allemagne, de Belgique et du Bas-Boulonnais corroborée par un examen des espèces fossiles de ces différents pays par LONSDALE, arrivait à cette conclusion décisive:

« *Il est donc certain que les roches inférieures du Bas-Boulonnais sont dévoniennes* » [3].

Ainsi donc, en 1840, la détermination de l'âge des strates mises à jour dans le Bas-Boulonnais était accomplie, et on reconnaissait du nord au sud la succession suivante:

Sud : Jurassique
Calcaire carbonifère
Nord : Dévonien (supérieur) [4]

Laissant de côté les terrains dévonien et jurassique, je m'en tiendrai, pour le détail, au seul Calcaire carbonifère dont les strates fournissent les marbres qui font l'objet de ce travail.

II. — LE SYSTEME CARBONIFERE DANS LE BAS-BOULONNAIS.

A. — Les roches carbonifères, leurs gisements.

Les sédiments carbonifères sont représentés dans le Bas-Boulonnais par des dolomies, des calcaires et de la houille.

3. MURCHISON. — Sur les roches dévoniennes, type particulier de l'Old Red Sandstone des géologues anglais, qui se trouvent dans le Boulonnais et les pays limitrophes — *Bull. Soc. géol. France,* 1re Série, 11, 1839-1840, p. 242.

4. Contrairement à DELANOUE (1852) et à GODWIN AUSTEN (1853), DE VERNEUIL et DE KONINCK « continuent à ne voir dans les couches dévoniennes du Boulonnais que l'étage supérieur. C'est cette opinion que je me propose de venir appuyer de nouvelles preuves ». cf. GOSSELET. — Mémoire sur les Terrains Primaires de la Belgique et du Boulonnais — Paris, 1860, p. 127.

La série débute, à la hauteur du passage à niveau du Hure, par cent mètres de dolomie (No. 1) [5]. Cette dolomie, dont les strates plongent au sud, repose sur le Dévonien supérieur; elle est surmontée de calcaires qui sont entamés à l'ouest de la voie ferrée du Hure au Haut-Banc par deux tranchées ouvertes dans les prés (Nos. 2, 3) et, de l'autre côté par trois carrières (Nos. 5, 6, 7) qui s'étagent vers l'est parallèlement à cette voie. Les bancs, visiblement inclinés en direction du sud dans la tranchée du chemin de fer (No. 4) qui suit le passage à niveau du Hure, se montrent un peu plus loin inclinés vers le nord (Tranchée de chemin de fer du Haut-Banc (No. 10 *bis*).

Entre ces deux séries de calcaires inclinés les uns vers le sud, les autres vers le nord, il y a un espace de plusieurs mètres où la stratification normale a disparu et où les bancs sont morcelés. Cette dislocation des bancs et ce broiement des calcaires marquent l'emplacement d'une fracture connue sous le nom de *faille de Ferques;* cette faille divise les sédiments carbonifères en deux portions, l'une située au nord de la faille (*massif de Ferques*), l'autre située au sud (*dôme du Haut-Banc*).

Au passage à niveau du Haut-Banc (Nos. 12 et 13), les strates sont presque horizontales, mais ne tardent pas à plonger dans toutes les directions formant ainsi un immense dôme sous lequel on a trouvé la houille. Si l'on continue à suivre la voie ferrée de Calais à Boulogne-sur-Mer, on voit, dans la tranchée de Basse-Normandie (No. 14 *bis*), que ce dôme à bancs réguliers est chevauché par d'autres bancs plissés, froissés et recristallisés. Puis, brusquement, le calcaire fait place à des schistes rouges qui reposent sur lui. La surface de contact du calcaire et des schistes marque l'emplacement d'un accident (*faille d'Hydrequent*) qui limite au sud le dôme du Haut-Banc.

Pour retrouver la suite de la série sédimentaire, il faut se diriger vers l'ouest et gagner la carrière Hénaux de la Vallée Heureuse (No. 18, cf. Pl. I, fig. 1) et la carrière de la Société des Marbres du Boulonnais No. 19, cf. Pl. I, fig. 2) exploitée par M. Poulain. Ce sont ces deux carrières, avec celles du Haut-Banc (Nos. 12 et 13), qui ont fourni les marbres décrits dans ce travail. Ces marbres se retrouvent plus au nord dans des carrières aujourd'hui abandonnées (carrières des Ramonettes, cf. Nos. 8 et 9 — carrières de Blecquenecques, cf. Nos. 20, 21 et 22).

5. Les numéros entre parenthèses renvoient à la carte du Bas-Boulonnais.

Extrait de la Carte au 50.000e du Service Géographique de l'Armée.

Reproduction interdite

Imprimé au Service Géographique de l'Armée (Mai 1931).

Je signalerai enfin, pour mémoire, la bande de calcaire du Moulin des Combles (*synclinal de Rinxent*), qui affleure, sous le Bathonien, dans le fond de la Vallée Heureuse entre Rinxent et Hydrequent. C'est un mauvais affleurement; mais, le calcaire du Haut-Banc y est visible, incliné lentement au nord et reposant sur la dolomie du Hure que l'on peut toucher à la carrière abandonnée de Croute, sur la route de Rinxent à Blecquenecques.

B. — Historique.

Comme je l'ai esquissé plus haut, la succession sédimentaire du Bas-Boulonnais était, dès 1840, connue au moins dans ses grandes lignes. On pouvait, dès lors, aborder les études de détail.

Le problème de détail qui devait se poser le premier était celui de la *houille,* reconnue et exploitée dès 1692 en Boulonnais [6], dont on cherchait à limiter le bassin et s'il correspondait bien aux « Coal Measures » d'une part et au Bassin Franco-Belge d'autre part.

On sait, par des sondages, que ce combustible est compris entre deux masses calcaires dont la supérieure, à Ferques, n'a pas moins de 280 mètres de puissance. De bonne heure, des opinions opposées furent professées par les savants: pour les uns (R. MURCHISON, E. DE BEAUMONT, DELANOUE et SCHARPE) cette houille est de l'âge du Calcaire carbonifère au sein duquel elle est comprise; pour GODWIN AUSTEN, le charbon trouvé dans le Bas-Boulonnais est bien l'équivalent des « Coal Measures » et, logiquement, il fait de la masse calcaire inférieure à la houille le sommet du Calcaire carbonifère et de la masse qui lui est superposée l'équivalent du « Magnesian Limestone » d'Outre-Manche [7]. Les uns et les autres se ralliaient à la manière de voir de DU SOUICH et admettaient l'existence de deux calcaires, l'un plus ancien que la houille, l'autre plus récent.

En fin de sa thèse de doctorat, GOSSELET rejette cette manière de voir ; pour lui, « le bassin houiller du Boulonnais est le prolongement de celui de Mons » [8], le calcaire subordonné à la houille est le même que celui qui lui est superposé. Il explique cette position anor-

6. OLRY A. — Topographie souterraine du Bassin houiller du Boulonnais — *Etudes Gites Minér. France,* Paris, 1904, p. 89 et 91.

7. AUSTEN ROBERT A. C. — On the series of Upper Palaeozoic in the Boulonnais — *Quart. Journ. Geol. Soc.,* vol. 9, 1853, p. 244 (tableau).

8. GOSSELET J. — Mémoire sur les Terrains Primaires de la Belgique et du Boulonnais — Paris, 1860, p. 134.

male par un phénomène analogue à ceux observés en Belgique « par un renversement du calcaire sur le houiller ». Plus tard, reprenant la question, et constatant que les schistes houillers sont en position normale et, par ailleurs, que le calcaire qui surmonte la houille la recouvre en discordance sans être renversé, il arrive à cette supposition « qu'il y a entre les deux assises une faille très oblique et que le calcaire est venu chevaucher sur les tranches des schistes coupés en sifflet » [9].

Je me suis arrêté à ce problème posé par la houille parce qu'il est solidaire de celui que pose le Calcaire carbonifère, et parce qu'il met en relief la part prépondérante qu'a eue GOSSELET dans l'élaboration de nos connaissances touchant le Carbonifère du Bas-Boulonnais. Nous lui devons la première étude stratigraphique détaillée des carrières et affleurements qu'il fit en collaboration avec BERTAUT (1873), et les mises au point successives qu'apportèrent son « Esquisse géologique » (1880), son mémoire sur « L'Ardenne » (1888), et l'« Aperçu général sur la géologie du Boulonnais » qu'il donna à l'occasion du XXVIII[e] Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences (1899).

Depuis 1910, les travaux de détail se sont multipliés : travaux de paléontologie (M. A. SALEE, 1913 et 1921 — M. G. DELEPINE, 1920 — M. A. P. DUTERTRE, 1926 et 1928), de pétrographie (M. J. DE LAPPARENT, 1921 et 1922 — M. H. DERVILLE, 1925 et 1930), et de stratigraphie enfin auxquels je m'arrêterai quelque peu pour n'avoir plus à y revenir. Ces derniers travaux ont tous trait aux couches de base du Calcaire carbonifère.

C'est ainsi qu'en 1920 M. DELEPINE précisait l'âge de la « *Dolomie du Hure* », par laquelle débutent dans le Boulonnais les sédiments carbonifères. Cette dolomie dans laquelle MM. DE DORLODOT, SALEE [10] et PRUVOST avaient trouvé des Polypiers caractéristiques du Tournaisien, appartient par sa base à l'étage tournaisien, tandis que son sommet représente la base du Viséen et le niveau bien connu à *Daviesiella Llangollensis*. Il ajoutait: « les couches de base du Calcaire carbonifère sont aujourd'hui connues dans le Boulonnais; elles ont été ramenées par la faille d'Hydrequent et on les voit à l'entrée

9. GOSSELET J. — Etudes relatives au bassin houiller du Nord de la France — *Bull. Soc. géol. France*, 3[e] Série, t. 1, 1873, p. 410.

10. DE DORLODOT et SALEE. — Sur le synchronisme du Calcaire carbonifère du Boulonnais avec celui de la Belgique et de l'Angleterre — *C. R. Acad. Sc.*, 1911 (11 sept.), p. 556.

de la carrière Hénaux (massif du Haut-Banc) où elles sont représentées par des schistes alternant avec des calcaires noirs crinoïdiques en nodules ou en couches minces ondulées; leur faune permet de les situer à un niveau très inférieur du Tournaisien. *Le sous-étage tournaisien est donc représenté en entier dans le Boulonnais* » [11].

Les « *Calcschistes de la Vallée Heureuse* » du Tournaisien inférieur, ramenés en surface par la faille d'Hydrequent et étudiés par MM. P. PRUVOST et G. DELEPINE font défaut au Hure où « la dolomie tournaisienne repose directement sur les psammites famenniens » [12].

C. — Aperçu sur la tectonique du terrain carbonifère dans le Bas-Boulonnais.

Comme je l'ai montré plus haut, nous sommes redevables, pour une grande part, de nos connaissances sur le système carbonifère du Bas-Boulonnais aux recherches de GOSSELET; c'est son étude sur « l'Ardenne » qui devait encore fournir la clé du problème tectonique qui se posait dans cette région. A la solution de ce problème, MM. P. PRUVOST et G. DELEPINE ont récemment contribué en précisant l'allure de la faille d'Hydrequent et les rapports du Carbonifère avec le Dévonien dans le Bas-Boulonnais [13].

La région boulonnaise se trouvait, au début du Silurien, dans des conditions géographiques analogues à celles qui étaient réalisées dans les régions de Dinant et de Namur. A cette époque, le « *plissement de l'Ardenne* » déterminait dans ces deux dernières régions la formation de deux vastes bassins, l'un méridional (*bassin de Dinant*), l'autre septentrional (*bassin de Namur*), séparés par une crête de terrain silurien; le bassin septentrional était adossé au plateau silurien du Brabant. C'est dans ces bassins (en voie d'approfondissement progressif) que se déposèrent les sédiments dévoniens et carbonifères.

Après le dépôt de la houille, un nouveau mouvement du sol souleva toute la région du nord de la France. On l'a appelé « *ridement du Hainaut* » et on l'a attribué, non à un mouvement vertical de surrection, mais à une poussée horizontale et tangentielle. Pour GOSSELET, « cette poussée horizontale n'est qu'apparente. La cause du ridement

11. DELEPINE G. — Note sur la position stratigraphique de la dolomie du Hure — *Ann. Soc. géol. Nord*, t. XLV, 1921, p. 142.

12. DUTERTRE A. P. — L'inconnu du Hure: contact entre le Famennien et le Tournaisien dans le Bas-Boulonnais — *C. R. somm. Soc. géol. Fr.*, 1923, p. 110.

13. PRUVOST P. et DELEPINE G. — Observations sur la Faille d'Hydrequent et sur les couches de base du Carbonifère dans le Bas-Boulonnais — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 4e Sér., t. XXI, 1921, pp. 189 à 206.

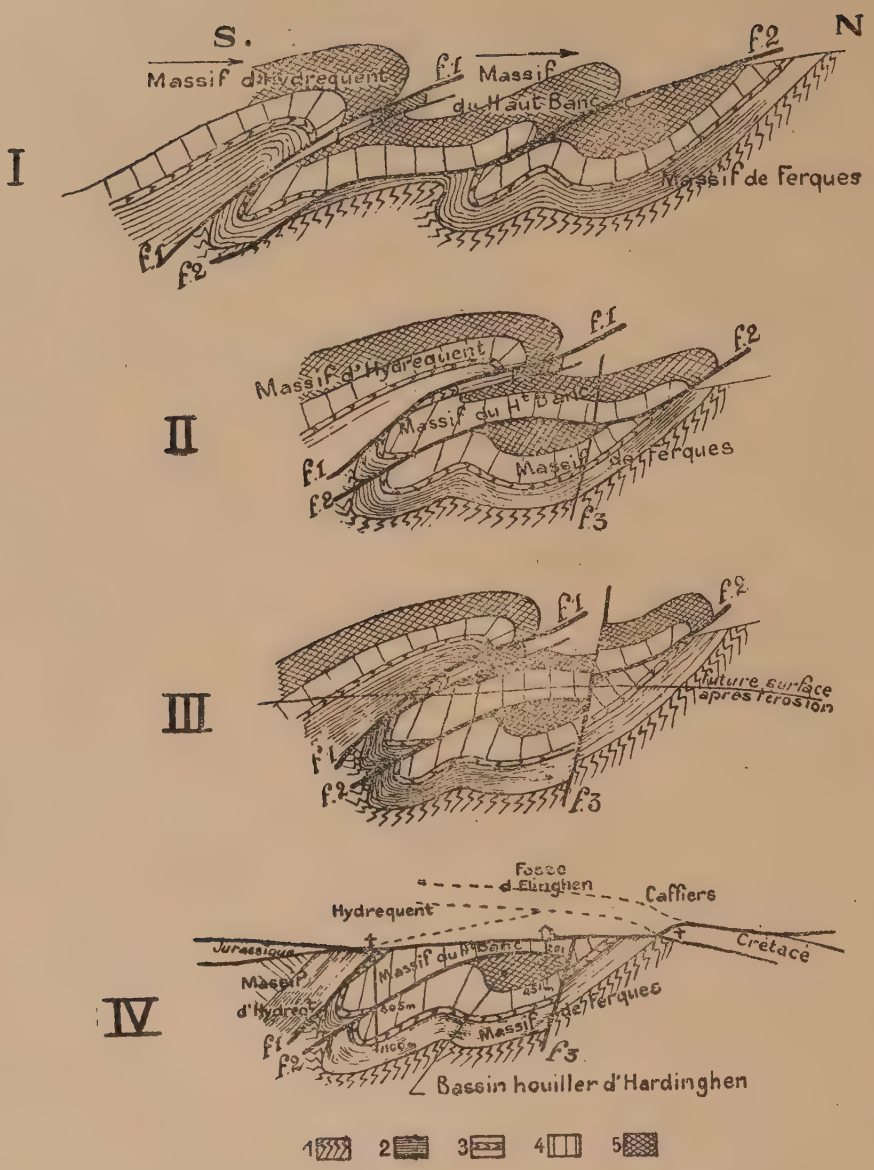


Fig. 2. — Schéma explicatif de la structure tectonique du Massif paléozoïque du Boulonnais.

I, Formation des écailles (ou massifs) ; II, Mise en place des écailles ; III, Failles de tassement (faille de Ferques), fin des mouvements hercyniens ; IV, Etat actuel (après les érosions successives).

1, Silurien ; 2, Dévonien ; 3, Dolomie du Hure et calcschistes de la Vallée Heureuse ; 4, Calcaire carbonifère ; 5, Terrain houiller.

f. 1, Faille d'Hydrequent ; f. 2, Faille du Haut-Banc ; f. 3, Faille de Ferques.

Ce schéma des mouvements tectoniques successifs dans le Boulonnais m'a été obligeamment communiqué par M. le Professeur P. Pruvost.

réside dans l'affaissement des parties centrales du bassin et dans le relèvement relatif des bords avec glissement des couches les unes sur les autres. L'affaissement lui-même est une conséquence du retrait constant de la croûte terrestre » [14].

Dans la région boulonnaise, le mouvement résultant se traduisit par une poussée du sud-ouest vers le nord-est au cours de laquelle le bassin septentrional vint buter contre le *plateau du Brabant;* le plateau offrant résistance, le bassin, comprimé, se transforma en un pli déjeté vers le nord dont la partie profonde s'enfonça vers le sud sous le bassin méridional. L'effort tangentiel continuant à se faire sentir, les mêmes phénomènes s'accentuèrent et le bassin méridional finit par surmonter le bassin septentrional, produisant à l'intérieur de celui-ci des chevauchements en écailles. Ainsi s'explique la position anormale de la masse calcaire qui surmonte la houille à Ferques et à Elinghen et qui, dans la première localité, présente une épaisseur de 280 mètres. Cette masse calcaire n'est pas en place; elle vient du sud et a été charriée vers le nord sur la partie septentrionale du *synclinal de Namur* resté en place et représenté en profondeur par une masse calcaire surmontée de schistes et de grès houillers avec couches de houille productive.

A quelques détails près, l'explication formulée pour les régions de Dinant et Namur est applicable au Bas-Boulonnais, qui représente le prolongement vers l'ouest du synclinal de Namur. GOSSELET précisait ce détail en 1891 dans une réponse à une note de OLRY aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences : « Dans le centre de la Belgique, les deux bassins sont séparés par une arête silurienne » (Crête du Condroz) ... « A l'ouest de Charleroi, l'arête silurienne cesse et les deux bassins ne sont plus séparés que par une grande cassure, désignée sous le nom de *Grande Faille* [15]. La distinction des deux bassins n'est pas une simple conception théorique. Ils sont parfaitement caractérisés non seulement par leur différence en richesse houillère, mais par l'âge, la nature et le facies des couches dévoniennes et carbonifères qui les remplissent. Le bassin de Namur ne contient que les séries moyennes et supé-

14. GOSSELET J. — Sur la structure du bassin houiller franco-belge — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 3e Sér., t. VIII, 1879-1880, p. 505.

15. Cette « Grande Faille » ne doit pas être confondue, dans le Boulonnais, avec la faille d'Hydrequent; elle passe plus au sud, au Wast, sous le manteau de terrains jurassiques.

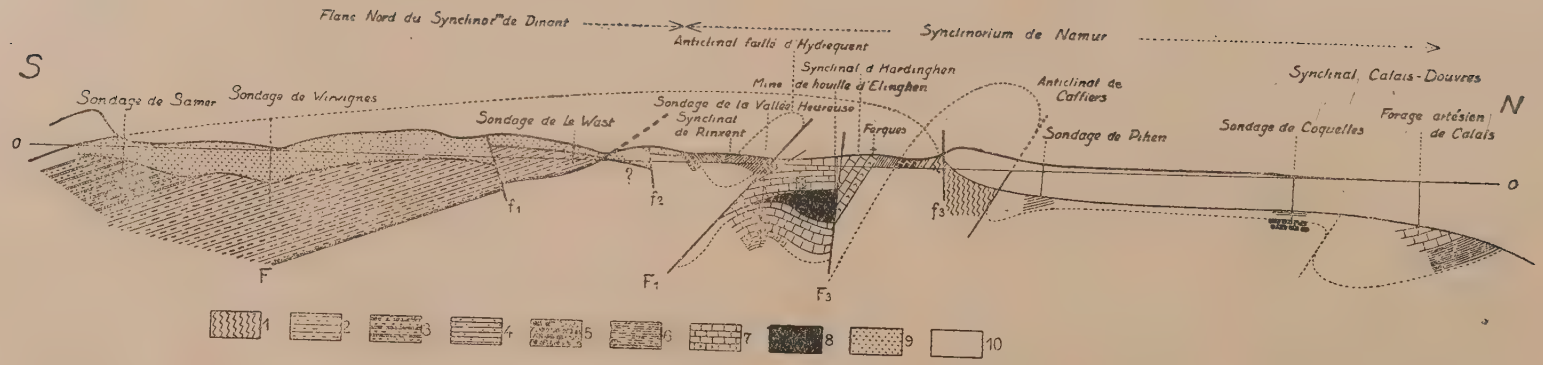


Fig. 3. — Coupe nord-sud de Calais à Samer, montrant les principales dislocations hercyniennes.

1, Ludlovien inférieur à *Monograptus colonus* ; 2, Ludlovien supérieur; 3, Gédinnien ; 4, Givétien ; 5, Frasnien ; 6, Famennien ; 7, Dolomie du Hure et Calcaire carbonifère ; 8, Houiller ; 9, Jurassique ; 10, Crétacé, Tertiaire et Post-Pliocène.

Failles hercyniennes : F, Grande faille du Midi ; F. 1, faille d'Hydrequent ; F. 2, faille du Haut-Banc ; F. 3, faille de Ferques.

Failles post-jurassiques : f. 1, faille de Wimereux ; f. 2, faille d'Epître.

Failles post-crétacées : f. 3, faille de Landrethun.

D'après P. Pruvost et J. Pringle. — A synopsis of the geology of the Boulonnais, including a correlation of the mesozoic rocks with those of England. — Tiré à part p. 21).

rieures, tandis que dans le bassin de Dinant on trouve la série inférieure, épaisse de plusieurs kilomètres » [16].

La plus récente mise au point est celle qu'a donnée en 1924 M. P. PRUVOST dans sa « Synopsis of the Geology of the Boulonnais ». La coupe orientée nord-sud de Calais à Samer, qui accompagne ce travail, donne la structure d'ensemble de la boutonnière et montre, plus clairement que ne le ferait une description, les positions relatives et l'allure des sédiments antérieurs à la craie.

16. GOSSELET J. — Observations au sujet de la note sur le terrain houiller du Boulonnais, de M. Olry — *Ann. Soc. géol. Nord*, t. XIX, 1891, p. 19.

PREMIÈRE PARTIE.

LES MARBRES DU BOULONNAIS.

Avant d'entreprendre la description détaillée des marbres du Boulonnais, il m'a paru nécessaire de parler de l'exploitation marbrière en ce pays, d'en esquisser l'histoire, d'essayer d'en fixer les origines (Ch. I), de préciser ensuite la place que les marbres occupent dans la série stratigraphique (Ch. II).

L'ordre dans lequel j'ai traité des différents marbres est quelque peu arbitraire et il en est d'ordinaire ainsi de toutes les classifications.

C'est ainsi que j'ai classé les marbres sous trois rubriques d'après leur allure prédominante en :

1. *marbres essentiellement formés d'organismes :* marbre Henriette (Ch. III), marbres Napoléon Tigré, dit « Pattes d'alouettes » et Napoléon Gris (Ch. IV);

2. *marbres essentiellement constitués par des débris d'organismes,* au milieu desquels peuvent, de ci de là, persister des organismes à structure conservée : marbre Caroline (Ch. V) et marbre Rubané Notre-Dame (Ch. VI) ;

3. *marbres constitués par des sédiments :* de nature bréchique, marbre Napoléon Grand Mélange (Ch. VIII) — ou du type calcaire grenu, marbre Joinville et marbre noir de Réty (Ch. IX).

J'ai traité à part le marbre Lunel (Ch. VII) parce qu'il constitue un tout; ses variétés « Lunel uni » et « Lunel fleuri » seraient à classer, la première sous la rubrique n° 3 (calcaire à grain fin), la seconde parmi les marbres essentiellement formés d'organismes (rubrique n° 1).

CHAPITRE PREMIER.

LES MARBRES BOULONNAIS ;

HISTOIRE DE LEUR EXPLOITATION.

Les marbres en général.

Au sens pétrographique et rigoureux, les marbres sont des calcaires métamorphiques, c'est-à-dire des calcaires qui ont recristallisé sous des influences diverses de compression, d'élévation de température etc... Ce sont des roches grenues, à grain macroscopique et qui, de ce chef, miroitent à l'état brut [17]. On les rencontre dans des gneiss en Suède, en Norvège, en Grèce (Marbre de Paros), dans des micaschistes et dans des schistes métamorphiques.

Au sens large et dans le langage courant, ce mot désigne toute variété de calcaire à grain fin susceptible de recevoir un beau poli et qui, par sa blancheur, par son coloris plus ou moins vif, par les dessins qu'il présente, peut être utilisé à la décoration ou dans l'ameublement. Certains marbres (par ex. le « *Rouge des Flandres* » du Dévonien de la Belgique), malgré la richesse et l'harmonie de leurs teintes, sont moins appréciés des exploitants. C'est qu'ils sont « terrasseux » et présentent, par endroits du moins, des parties molles et des plages argileuses qui nuisent à leur homogénéité et à leur solidité et qui, en outre, résistent au polissage [18].

Le plus pur est le marbre blanc dit *marbre statuaire* exploité autrefois à Paros (Grèce) et aujourd'hui dans les environs de Carrare (Italie). Ce marbre, d'un blanc de neige, se rencontre en masses réduites, de forme lenticulaire ; elles représentent à peine 5 % des 700.000 mètres cubes qu'on extrait chaque année des carrières des environs de Carrare.

17. « Marbre » vient du grec μάρμαρειν qui veut dire briller.

18. Le marbre dégrossi, pour être poli, est soumis à de nombreuses manipulations :

a. « à l'égrisage » ou frottement avec un morceau de grès mouillé,
b. « au rabat » (continuation du frottement),
c. « au bouchage », obturation des trous par un mastic approprié,
d. « à l'adouci », par frottement au moyen d'une pierre ponce en milieu aqueux,
e. « au piqué », au moyen d'un linge imprégné d'un mélange de plomb pulvérulent et de boue d'émeri,
f. « au lustré » par friction au moyen d'une étoffe humidifiée légèrement et imprégnée de potée d'étain.

D'autres, de teinte unie, sont parcourus par des fentes remplies de carbonate de calcium (marbres veinés) ou criblés de Polypiers, de Mollusques fossiles, et à structure spathique (*Griotte* « œil de perdrix »). Parmi les premiers, je citerai le *bleu turquin* veiné de blanc, *le bleu fleuri* veiné de noir et le marbre *jaune antique* exploité à Sienne; tous trois viennent d'Italie. Les Griottes et *Campans* [18bis] sont originaires des Pyrénées où ils se présentent en grandes masses arrondies dans les schistes dévoniens.

Les marbres bréchoïdes sont formés d'éléments anguleux de taille très variable; les variétés à éléments de petite taille ont reçu le nom de *brocatelles*. Dans ce groupe rentrent le *Sarrancolin des Pyrénées*, *le Sainte-Anne belge*, *le Brocatelle d'Espagne* etc.

Pour finir, je citerai le calcaire zonaire qu'on exploite comme marbre en maints endroits de l'Algérie sous le nom d'« *Onyx d'Algérie* ».

I. — LES MARBRES DU BOULONNAIS.

Sous ce titre « Les Marbres du Boulonnais », j'envisage l'étude, non point de tous les marbres (dévoniens ou carbonifères) qui sont sortis des carrières du Bas-Boulonnais, mais des seuls marbres carbonifères, et, parmi ceux-ci, de ceux aujourd'hui exploités ou qui eurent autrefois leurs jours de célébrité.

Laissant donc de côté le marbre Stinkal [19] (Dévonien), le marbre de Caux, le marbre Duhamel, le marbre Delsaux, le marbre Muselet... et d'autres qui n'ont pas eu de lendemain, je m'attacherai à l'étude du *marbre Lunel* et des variétés du *marbre Napoléon*. J'y joindrai la des-

18*bis*. Variété de marbre qu'on tire des carrières de Campan, près de Bagnères-de-Bigorre, dans les Hautes-Pyrénées.

Ces marbres amygdalins, d'un beau vert mêlé de rouge foncé, de gris, de blanc, de rose pâle, étaient connus des Romains. On en a retrouvé des blocs dans les ruines de l'antique Lugdunum Convenarum, détruite en 585. Connus également sous le nom de « vert français » ou « vert campan » les marbres d'Espiadet ont fourni les colonnes ioniques du péristyle du Grand-Trianon, les vingt-deux magnifiques colonnes qui ornent le Palais-Royal de Berlin, et une partie des matériaux employés pour la décoration de l'Opéra de Paris.

19. Le « *marbre Stinkal* » est un marbre à fond gris sur lequel se dessinent des taches irrégulières, brun foncé ou noires. Il est d'âge dévonien et fut exploité autrefois aux carrières de Ferques.

Ce terme de stinkal est encore employé aujourd'hui par les gens du pays pour désigner les calcaires compacts qui, par altération superficielle, prennent une patine blanche; il doit correspondre à l'ancien nom « stinkalk », nom apporté, sans doute, par les premiers mineurs flamands, et appliqué à tous les calcaires anciens du pays, qu'on exploite comme marbre ou comme pierre à chaux. (De VERNEUIL. — Note sur les terrains anciens du Bas-Boulonnais. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1re Série, 9, 1837-1838, p. 390).

cription des marbres *Caroline*, *Henriette* et *Joinville*, autrefois célèbres et dont l'exploitation a cessé il y a quelques années seulement.

BERTRAND dès 1829 signale trente espèces de marbres [20]. Ce chiffre pourra paraître prodigieux et exagéré; toutefois, il y a lieu de se rappeler qu'avant la formation des deux sociétés qui assurent aujourd'hui le fonctionnement de cette industrie, le Calcaire carbonifère était travaillé par une pléiade de petits exploitants qui en tiraient la pierre de taille, les carreaux de pavement... Chacun avait son trou qu'il grattait, chacun voulut avoir son marbre... qu'il appela de son nom.

Quelques-uns n'ont existé qu'à l'état d'échantillons-réclame; tel le marbre Desjardins. D'un bloc extrait par lui de la carrière qui porte aujourd'hui encore son nom et qui est abandonnée, M. Desjardins fit faire nombre d'échantillons-réclame qu'il dissémina par manière de propagande. Le marbre était riche de teinte et remarquablement veiné; son succès fut immense et les commandes tombèrent drues. Mais, lorsqu'il se mit en demeure de servir sa clientèle, M. Desjardins fut dans l'impossibilité de le faire. La portion de sa carrière d'où provenait l'échantillon type étant voisine de la faille de Ferques, il est à croire qu'il tomba sur ce qu'on appelle dans le pays « un morceau boulant » dont il ne retrouva plus le pareil.

L'endroit dénommé « *les Carriérettes* » est un lambeau témoin de cette phase des petites exploitations. Le sol y est percé comme une écumoire de multiples petits trous qui se rejoignent; on dirait une zone de champ de bataille « marmitée » par les obus.

II. — HISTOIRE DE LEUR EXPLOITATION.

Le trait que je viens de citer en passant montre que l'histoire du marbre dans le Boulonnais n'est pas dénuée d'intérêt; essayons de préciser les origines de l'exploitation et d'esquisser son développement. Dans ce but, j'ai recouru non seulement aux documents écrits, mais encore aux documents oraux et j'ai tenu à consulter les sociétés exploitantes et l'un ou l'autre des plus anciens carriers du pays. Je dois dire que cette dernière source m'a fourni peu de renseignements précis; néanmoins, en me basant sur ces faits et sur des considérations théoriques, j'essaierai de donner mon impression personnelle touchant cette question.

20. BERTRAND. — Précis de l'histoire de Boulogne-sur-mer et de ses environs. — 1829, 2e vol., p. 129.

A. — Faits fournis par les documents historiques.

1. — Un premier fait, et qui a son importance, c'est la *place faite dans les documents écrits à la « pierre Marquise »*.

Cette pierre d'âge jurassique et de facies oolithique ne m'intéresse qu'indirectement. Cependant, de l'importance accordée dans les documents à la pierre de Marquise, et de l'ombre où sont restés les marbres du Boulonnais, il me semble découler une présomption qu'il serait imprudent de négliger.

Les Romains en firent usage ; on en a comme preuves « les monuments d'architecture qu'on a rencontrés à Boulogne, soit dans les fouilles de Bréquerecque, soit dans la crypte de la Cathédrale, soit dans les arènes de la rue Royale » [21]... entre autres « deux bases de piliers romains en pierre de Marquise et d'un beau style » découverts en 1881 à Boulogne-sur-mer dans la rue de Lille « au milieu de la voie et à 1 m. 50 de profondeur » [22].

Plus tard, Marquise vit naître dans ses ateliers une école de sculpteurs dont la renommée s'étendit à l'étranger. C'est ainsi que l'abbé Scollandus « qui gouverna de 1067 à 1087 le monastère de St. Augustin de Cantorbéry, ayant résolu de faire reconstruire cette abbaye célèbre, envoya un architecte à Marquise pour y faire tailler des bases, des colonnes et des chapiteaux dont on chargea un navire. Il y vint lui-même embaucher des ouvriers et faire tirer des pierres en grande quantité pour les employer à la reconstruction de cet édifice » [23].

Marquise, au moyen âge, produisit beaucoup de pierres tombales gravées. « Un des produits les plus intéressants de l'art local sont les fonts baptismaux en pierre de Marquise exécutés sur place et envoyés parfois assez loin; la plupart sont romans, mais on en trouve de toutes les époques du moyen âge. Il faut citer pour le XI[e] siècle ceux de Samer, cuve cylindrique, et ceux d'Airaines (Somme), cuve en rectangle allongé, décorés pareillement d'un rebord à torsade, de colonnettes et de groupes de trois personnages nus et accroupis; pour le XII[e] siècle, la très belle cuve circulaire de Wierre-Effroy (Musée de Boulogne), les cuves à cinq supports de Hesdres, Tubersent, Carly, Audrehen, Wierre-au-Bois, Dannes, Condette, Neufchâtel, St-Léonard (base) etc... ; la cuve à support unique d'Isques. Le type à cinq supports persiste au XIII[e] siècle (Montreuil), au XIV[e] siècle (Crémarest, débris), au XV[e] siècle (Escœuilles), au XVI[e] siècle (Hesdin) contrairement à ce qu'on avait longtemps pensé.

21. HAIGNERE. — Dictionnaire du Pas-de-Calais. — Boulogne, vol. 1, 1880, p. 224.

22. DESEILLE E. — *Bull. Soc. Ac. Boul.*, Séance du 8 oct. 1884, p. 455.

23. HAIGNERE. — loc. cit., Boulogne, vol. 3, 1882, p. 225.

Les cuves baptismales ont été beaucoup plus rares à partir du XIII[e] siècle, parce que ces objets s'usaient peu et que toutes les paroisses en étaient pourvues » [24].

2. — Un second fait qui doit retenir l'attention, c'est *la place qu'occupent dans les documents les marbres exotiques* dont quelques-uns furent employés à la confection du jubé de l'ancienne cathédrale de Boulogne. Ce jubé fut fait en 1667, 1668 et 1669; dans sa description, il y est parlé « d'une riche balustrade, aussy de marbre de Namur ». Puis le document ajoute:

« Ce magnifique jubé a esté faict aux despens de M. Antoine, Duc d'Aumont, Mareschal de France, Gouverneur de Boulogne, où il despensa des sommes considérables à la construction de ce jubé, ayant faict venir la plus part du marbre du Brabant avec les ouvriers. Les colonnes quarrées sont du Boulognois avec les marches qui sont du stincal » [25].

Dans les Actes Capitulaires, il est question:

à la date du 21 octobre 1652 d'« aller en Angleterre quérir quarante-un pieds cubes d'albastre qui sont nécessaires pour l'autel »,

et en 1653 de payer « 36 livres au matelot qui est allé quérir à Douvres trois blocs de marbre blanc dont l'un était dit marbre de Gênes ; — 41 sous 6 deniers à 2 voituriers pour deux charretées de marbre jaspé amené d'Elinghen pour faire les balustres de la clôture du chœur..... » [26].

Des marbres belges il est encore fait mention dans une note de l'abbé HAIGNERE sur la lame de pierre posée en 1173 sur le tombeau de Matthieu I, Comte de Boulogne, lame conservée au Musée de Boulogne-sur-Mer et « que l'on croit être une sorte de marbre noir de Belgique » [27].

De tous ces documents ressort le fait de la contribution exorbitante de l'étranger dans notre approvisionnement en marbre au XII[e] et au XVII[e] siècle. Cette contribution est confirmée et précisée par des chiffres dans un mémoire de M. le Vicomte HERICART DE THURY à la Société d'Encouragement à Paris. GARNIER cite ce mémoire au début de son travail et ajoute:

« On serait tenté de croire, comme il le dit, que l'étranger a le privi-

24. Boulogne-sur-mer et la Région boulonnaise. — *XXVIII[e] Congrès de l'Assoc. Franç. pour l'Avanc. des Sc.*, vol. 1, pp. 299 et 300.

25. DESEILLE E. — *L'Année Boulonnaise.* — 1885-1886, p. 377.

26. DESEILLE E. — *L'Année Boulonnaise.* — 1885-1886, p. 378 sq.

27. HAIGNERE. — Le tombeau de Matthieu I, Comte de Boulogne, au Musée de Boulogne-sur-mer.

lège exclusif de nous approvisionner de marbres. En effet, on lit dans ce mémoire que leur importation a été

en 1817, de 3.111.831 kilogrammes
en 1818, de 3.998.026 »
en 1819, de 2.874.688 »
en 1820, de 4.080.872 »

et qu'elle a éprouvé encore un accroissement considérable pendant l'année 1821.

Il est donc très important de reprendre, dans les différentes parties de la France, l'exploitation de carrières abandonnées depuis longtemps, et dont les produits cependant ont jadis servi aux Romains pour construire ces beaux monuments » [28].

3. — Par contre, c'est *à titre exceptionnel* que, dans les documents historiques, *il est fait mention des marbres du Boulonnais;* encore est-il plus vraisemblable, étant donné l'usage qu'on en a fait, qu'ils aient été employés simplement ouvrés et non polis.

Il y a quelques années (1922), M. LE CAT signalait, en séance de la Société Académique de Boulogne-sur-Mer, « la présence chez un boulanger de la ville, d'une cuve baptismale en marbre sculpté, cerclée de cuivre portant sur un écusson le millésime « 1613 » [29]. Cette cuve provenait d'une paroisse de Boulogne. M. LE CAT s'était offert à me conduire chez le boulanger en question, mais plus ne se trouva le bonhomme, ni ce qui est plus grave le bénitier. Je ne puis donc préciser davantage.

Il a été question, nous l'avons vu, de marbres du Boulonnais dans la description du jubé de l'ancienne cathédrale Notre-Dame (1667 à 1669) : « de colonnes du Boulognois, de marches de Stincal, de marbre jaspé d'Elinghen ».

J'ai relevé, encastrées dans les murs de l'église de Marquise, quelques pierres en marbre du Boulonnais avec épitaphes datant de 1640, 1650, 1653, 1691. Une, beaucoup plus récente, gravée à la mémoire d'Antoine François Marie Gody portait le millésime 1809 ; elle commençait à se ternir, mais de toute évidence, avait été polie. Le dessin du marbre m'a permis de l'identifier soit comme provenant de la partie supérieure du Napoléon Grand Mélange, soit comme Napoléon Gris ou Tigré.

28. GARNIER F. — Mémoire géologique sur les terrains du Bas-Boulonnais. — 1823, p. 3.

29. Communication faite à la *Soc. Acad. de Boul.-sur-mer,* Séance du 11 janvier 1922.

Un fait indubitable c'est l'importante contribution des carrières du Haut-Banc [30] dans la production des matériaux de construction : « des carreaux, des pavés, des bornes, des pierres sépulcrales, etc. sont taillés et appropriés ; enfin des rochers entiers sont extraits et charriés à leur destination. Il n'est peut-être pas en France de carrières d'où l'on puisse tirer des blocs d'une homogénéité aussi parfaite, et toutes les écluses, les ponts-levis, les quais et les fortifications de la plupart des villes du nord de la France doivent quelque tribut aux carrières du Haut-Banc » [31]. Il est resté des traces de cette industrie dans les Etats Généraux de 1789 et les cahiers de doléances de la paroisse de Fiennes, de la communauté de Landrethun et de la paroisse de Caffiers [32]. Les uns (Fiennes) réclament l'entretien des chemins aux frais des entrepreneurs de carrières. Landrethun proteste contre les grands droits exigés des marchands de pierre pour le transport des pierres brutes et de celles « qu'ils appellent ouvrées ». La paroisse de Caffiers demande que l'on décharge les laboureurs des paroisses de Ferques, Elinghen, Landrethun et Caffiers « des corvées exorbitantes » (une toise cube de pierre à voiturer par cheval) « exigées d'eux pour la réfection et réparation » du chemin qui conduit de ces carrières au bourg de Guines.

B. — Documents fournis par les travaux géologiques.

Sans en avoir l'absolue évidence, il semble, d'après les documents historiques, que le développement de l'industrie marbrière dans le Boulonnais soit de date assez récente. Sans doute, j'ai cité quelques pièces qui remontent à la seconde moitié du XVII[e] siècle — mais ces pièces sont rares, exceptionnelles même, à côté de la célébrité acquise aux pierres de Marquise, aux marbres de Flandre et de Namur en particulier, au marbre de Gênes, etc...

Avant de consulter sur ce point les travaux des géologues, il me paraît utile de préciser la valeur exacte à donner au mot « marbre » employé par ces documents. Personnellement, je me demande si ce terme de « marbre » n'est pas purement et simplement employé par opposition à pierre de Marquise qui est une roche calcaire, oolithique

30. « Transport de 161.200 pieds cubes de pierres de taille et d'environ 2000 toises cubes de blocailles, tirées des carrières de Landrethun, de Ferques, et du Haut-Banc pour les ouvrages du port de Dunkerque. » Cf. *Archives de Boul.-sur-mer.* — N° 1643 (liasse), Année 1757-1760.

31. BERTRAND. — Précis de l'hist. de Boul.-sur-mer et de ses environs. — 1829, vol. II, p. 187.

32. Etats Généraux de 1789. Assemblée du Boulonnais. Cahiers de remontrances et doléances des trois ordres. Cahiers de doléances des paroisses et communautés. — Boul.-sur-mer, 1889, pp. 319, 256, 356.

et peu homogène et s'il est synonyme nécessairement de calcaire poli et non pas plutôt de *calcaire homogène* et assez finement cristallisé pour pouvoir recevoir un beau poli.

1. — Quoique sur leur carte N° 1 intitulée « Carte minéralogique d'une partie du Boulonnais, du Calaisis et de la Flandre, où se trouvent Ambleteuse, Calais et Dunkerque » les marbres soient signalés à Leulinghen, Ferques, Elinghen, Fiennes et Hidrequin (Hydrequent), GUETTARD et MONNET (1780) *ne citent positivement que le steinqual, le plus ancien du pays au dire de Bertrand* [33]. C'est une roche calcaire assez compacte, d'un fond brun jaunâtre relevé de larges mouches foncées. Il « prend un très beau poli et fournit de beaux manteaux et chambranles de cheminée. Sa couleur (foncée) est cause qu'on en fait aussi des carreaux pour paver les édifices publics: en le mariant avec des carreaux de pierre marquise [34] qui est très blanche, il produit un assez bel effet » [35].

Après avoir cité les carrières de Ferques, MONNET décrit la Vallée Heureuse, « le Haut-Banc » et sa carrière ; « on en tire des marbres depuis un temps immémorial, dit-on ». Il ajoute : « Ce marbre est aussi connu sous le nom de marbre de steinqual ; et... (comme) cette carrière est plus ancienne, il y a lieu de croire que c'est d'abord à ce marbre que ce nom fut appliqué, nom qui ne désigne plus aujourd'hui que la qualité et la couleur de ce marbre, et non le lieu où il se trouve [36].

2. — Somme toute, l'auteur ne signale que le Steinqual ; il a bien fait allusion à un autre marbre (marbre d'Hydrequent?) mais sans le nommer. Il faut attendre jusqu'en 1823 pour avoir un travail un peu étendu sur les marbres. GARNIER [37] commence par avouer qu'on manque de données sur les carrières de marbre du Bas-Boulonnais (p. 2) « abandonnées depuis longtemps » (p. 3) et dont « l'exploitation est toujours restée dans une inaction désespérante » (p. 15). C'est pour aider à sortir de ce marasme que la Société d'Agriculture de la ville

33. BERTRAND. — Précis de l'hist. de Boul.-sur-mer et de ses environs. — 1829, vol. II, p. 446.

34. Pierre de Marquise, calcaire oolithique dont il a déjà été fait mention.

35. GUETTARD et MONNET. — Atlas et description minéralogique de la France. — 1780, p. 39.

D'après la description qu'en donnent les auteurs, le marbre Steinqual dont il est question ici est un marbre dévonien, originaire des carrières de Ferques.

36. GUETTARD et MONNET. — Atlas et descr. minéral. de la France. — 1780, p. 40.

37. GARNIER F. — Mémoire géologique sur les terrains du Bas-Boulonnais. — 1823.

de Boulogne propose de décerner une médaille d'or à l'auteur du meilleur mémoire sur les marbres du Boulonnais. On devait dresser une carte des gisements avec direction et inclinaison des couches, fournir un mémoire géologique avec description des roches, indiquer le mode actuel d'exploitation, celui qu'on pourrait lui substituer, et l'utilisation possible de ces marbres à la construction et à la décoration, enfin envoyer deux échantillons de tous les marbres, l'un poli et l'autre brut.

C'est à ce programme de concours que répond le mémoire de GARNIER ; la carte qu'il a jointe à son travail et dont je donne une repro-

Fig. 4. — Carte géognostique du Bas-Boulonnais d'après GARNIER (1823).
1, calcaire crayeux ; 2, calcaire compacte ou marbre — grès et calcaires siliceux ; 2a, direction des couches de marbre ; 2b, couches de houille ; 2c, couches de grès ; 3, calcaire oolithique.
Les flèches indiquent les différents points de l'horizon vers lesquels tend l'inclinaison des couches.

duction, montre que, si les marbres sont peu exploités, du moins les carrières ne manquent pas à cette époque.

L'auteur signale [38] sous le nom de calcaire d'Hydrequent un calcaire compact, de teinte grise, rayé de blanc ou irrégulièrement veiné de brun rose (échantillon N° 53 bis). Ce marbre qui provient de Haute-Falaise me paraît, à la description, devoir être un Lunel du type Lunel rubané Notre-Dame, dont on n'a, au dire de l'auteur, exploité que la tête des couches [39].

Quelques pages sont ensuite consacrées à des carrières ouvertes dans le Dévonien (pp. 16-20). L'auteur, à ce qu'il me semble, décrit, sans

38. Je borne ma nomenclature des marbres carbonifères à ceux qui intéressent plus directement mon travail.

39. GARNIER F. — Mém. géol. sur les Terrains du Bas-Boul. — p. 14.

le désigner par son nom, le *marbre Stinqual* [40]. Cinq couches seulement sont exploitées comme marbres parce qu'elles sont de dessins plus variés ; mais ces marbres sont peu recherchés à cause de leur teinte sombre.

Un autre calcaire d'un gris pâle de café au lait passant parfois au gris foncé, dont « les différentes nuances... entremêlées... donnent lieu à des dessins de feuillages » et qui, « exploité sur une profondeur de près de 40 pieds, paraît être en masse », fait penser au sommet du *Napoléon Grand Mélange*. Ce marbre qui fut choisi pour la Colonne Napoléon, a été extrait de la carrière b [40*bis*] dont l'exploitation a commencé en l'an 1803 ; elle a depuis été remblayée. Cette carrière, ajoute l'auteur, *« est la seule, de toutes celles actuellement exploitées dans le Bas-Boulonnais, qui présente un grand intérêt sous le rapport commercial »* [41].

GARNIER juge qu'au point de vue marbre il faut abandonner les carrières du Haut-Banc dont les calcaires « qui tous jouissent à un haut degré de la propriété de recevoir un beau poli, n'ont cependant jamais été exploités que pour pierres de construction ; leur couleur uniforme de gris cendré plus ou moins foncé s'oppose en effet à ce qu'ils puissent offrir quelques dessins variés » [42] ; il suggère le développement d'une carrière sise à Haute-Falaise, carrière « peu exploitée » et dont le marbre (*marbre d'Hydrequent*) « est peut-être de tous ceux que l'on a jusqu'à présent exploités dans le Boulonnais, le plus précieux... » [43].

3. — A BERTRAND le premier (1829) revient le mérite de nous avoir donné une nomenclature et une description des marbres du Boulonnais [44], description sur laquelle j'aurai à revenir dans le courant de

40. Pris ici dans le sens restreint qu'il a gardé de nos jours, à savoir : marbre de texture assez compacte, brun jaunâtre avec mouchetures de teinte plus foncée. — Ce nom dérive du mot Steinkalk qui veut dire pierre calcaire, nom donné peut-être par quelque ouvrier allemand (GUETTARD et MONNET) — ou par quelqu'un des ouvriers flamands que le Duc d'Aumont, Gouverneur de Boulogne, fit venir du Brabant en 1667, 1668, 1669 (cf. supra). Sous ce nom « formation de Stinkalk » dont il faisait l'analogue de « Mountain Limestone », ROZET dans sa « Description géognostique... » (1828) incluait tout le paléozoïque, calcaires dévoniens et carbonifères.

40*bis*. Cette carrière a été reportée par Garnier lui-même sur la carte qui accompagne son mémoire sur les marbres du Boulonnais, carte dont je donne ci-dessus une copie.

41. GARNIER F. — Mém. géol. sur les terrains du Bas-Boul. — pp. 20 et 21.

42. GARNIER F. — Mém. géol. sur les terrains du Bas-Boul. — p. 24.

Voir plus loin (pp. 25 et 26, 66 et 67) ce qui concerne la découverte d'un marbre rubané (probablement Caroline).

43. GARNIER F. — Mém. géol. sur les terrains du Bas-Boul. — p. 25.

44. BERTRAND. — Précis de l'hist. de Boul.-sur-mer et de ses environs. — 1829, vol. II, pp. 129 sq., 184 sq., 444 sq.

cet ouvrage. Comme localités célèbres par leurs marbres, il cite Ferques, Elinghen, Brecnèque et sa carrière de la Colonne, Hydrequen et son marbre gris à veines rouges.

III. — CONCLUSIONS.

Des documents historiques et de l'analyse des ouvrages qui viennent d'être passés en revue ne semble guère se dégager cette idée que l'exploitation des marbres du Boulonnais remonte à une haute antiquité. L'exploitation marbrière y est restée longtemps dans le marasme et la stagnation.

Après avoir essayé de préciser de mon mieux la date initiale d'exploitation des marbres qui font l'objet de mon étude, je chercherai, en terminant, les causes de cette stagnation et je tâcherai d'esquisser les phases par lesquelles est passée cette branche de l'industrie extractive pour aboutir au plein développement où nous la voyons aujourd'hui.

A. — Les Marbres du Boulonnais — Date initiale de leur exploitation.

1. — Les marbres qui intéressent plus directement ce travail et dont les plus anciennement exploités me paraissent être les marbres *Henriette* et *Caroline* sont d'exploitation relativement récente. Je me suis laissé dire qu'ils étaient très anciens et que des maisons de Boulogne-sur-Mer construites au XVI[e] siècle avaient des cheminées en marbre Henriette. Personnellement, je ne le crois pas ; tout au plus, selon moi, ce marbre serait-il de la seconde moitié du XVIII[e] siècle [44*bis*].

BERTRAND [45], pour la première fois, le cite en 1829. Cet argument serait faible s'il était seul, car rien ne prouve que le marbre n'ait été baptisé longtemps après sa découverte. Mais il est renforcé, me semble-t-il, par des insinuations de GARNIER (1823) et de ROZET (1828).

Le premier [46], après une description des calcaires du Haut-Banc, signale ce fait que le propriétaire d'une des carrières du Haut-Banc a « découvert, il y a peu de temps, une couche de calcaire qui présente quelques nuances variées » et il renvoie à quelques échantillons numérotés 50, 51, 52 et 52 *bis* dont il donne une description sommaire. De ces descriptions, la plus caractéristique définit un calcaire gris cendré foncé avec dessins rubanés et ondulés plus clairs qui me fait penser à un des nombreux rubanés dont Caroline est le type. S'agit-il des rubanés superposés à Henriette ou de ceux qui lui sont subordonnés? la question est insoluble, et la précision sans grand intérêt.

44*bis*. Pour le marbre Henriette, voir le début du chapitre III (p. 40).
45. BERTRAND. — Précis de l'hist. de Boul.-sur-mer... — vol. II, p. 445.
46. GARNIER F. — Mém. géol. sur les Terr. du Bas-Boul. — p. 24.

ROZET[47], à son tour, décrit les carrières du Haut-Banc et la succession qu'on y observe de bancs minces en plaquettes et de bancs plus épais ; puis il ajoute : « A la partie inférieure du Haut-Banc[48], sont des lits susceptibles de prendre un beau poli et auxquels on donne le nom de marbre. Ces lits sont des variétés de la roche ; quelquefois la même strate est moitié marbre et moitié calcaire ordinaire ».

La description sommaire qu'en donne ROZET me ramène aux bancs rubanés et en particulier au marbre Caroline ou au banc qui lui est immédiatement subordonné, tous deux étant mi-partie de calcaire grenu (« calcaire ordinaire »), mi-partie de calcaire rubané (« moitié marbre » de ROZET).

Le fait signalé par GARNIER offre un grand intérêt, car il le présente comme un fait nouveau et sa description, comme celle de ROZET, répond bien au *marbre Caroline*. Or, je ne sache pas qu'on ait exploité au Haut-Banc, sous le même nom, un autre rubané que celui connu sous le nom de Caroline et qui est situé trois bancs au-dessous d'*Henriette*.

Quant aux noms de « *Caroline* » et « *Henriette* » donnés à ces deux marbres, les avis sur ce point sont partagés. Les uns disent que ces deux bancs exploités comme marbres reçurent chacun le nom d'une des filles d'un M. Battel — pour les autres, ces noms seraient ceux des filles de M. Létendard. Cet éclaircissement pourra paraître de pure fantaisie ; il n'en est rien. Préciser ce détail amènerait à préciser la carrière qui fut le berceau des deux marbres en question et pourrait, par voie de déduction, nous révéler la date du début de leur exploitation.

2. — Les autres marbres sont approximativement de la même époque. L'un d'eux se rattache à une de nos gloires militaires, à la solennité de la première distribution des décorations de la Légion d'Honneur (16 août 1809) et au souvenir de la Grande Armée campée cette année-là sur les côtes du Pas-de-Calais à deux kilomètres au nord de Boulogne-sur-Mer. Je veux parler du « *marbre de la Colonne* » (nom qui lui fut donné sous la Restauration), aujourd'hui appelé de son vrai nom « *marbre Napoléon* ». Sous ce terme générique sont comprises des formations bréchiques et organiques dont la série complète n'est connue que depuis 1897 ; elle fut découverte à l'occasion d'un sondage effectué par les frères Lambert. C'est à la formation bréchique « *Napoléon Grand Mélange* » que furent empruntés les matériaux qui servirent à édifier la Colonne de la Grande Armée.

47. ROZET. — Description géognostique... — 1828, pp. 93 et 94.

48. Il s'agit ici de la carrière (aujourd'hui abandonnée) située près du passage à niveau du Haut-Banc à droite de la route qui mène de la halte du Haut-Banc à la gare de Rinxent.

3. — C'est encore au souvenir de Napoléon Premier que nous ramène, bien qu'indirectement, le *marbre Joinville.* Il fut en effet baptisé du nom du prince-amiral, qui, en l'année 1840, ramena de Sainte-Hélène en France les cendres du grand guerrier.

Voilà d'une certaine manière précisés et datés la plupart des marbres du Boulonnais qui font l'objet de ce travail. Je ferai remarquer néanmoins que ces précisions sont approximatives et n'ont rien d'absolu ; les marbres d'un même niveau pouvant varier beaucoup de teinte et, de ce chef, avoir reçu des noms différents, les mêmes marbres ayant pu par ailleurs être extraits de carrières différentes sous des noms différents, noms de propriétaires par exemple, bien avant que le marbre n'eût reçu le nom qu'il porte aujourd'hui. C'est probablement ce qui est arrivé pour le marbre de Caux par rapport à certaine variété de Napoléon ; il en est de même du marbre Duhamel, originaire de Brecquenecque, comparé au marbre de la Colonne et qui, au dire de BERTRAND [49], s'en rapproche ainsi que d'une variété de marbre Lunel.

B. — Longue stagnation de l'industrie marbrière ; ses causes.

Bref, les marbres du Boulonnais sont exploités dès la fin du dix-huitième siècle (1780) ; quarante ans plus tard, GARNIER (1823) déplore l'inaction désespérante de cette exploitation.

Les causes de cette stagnation sont faciles à deviner ; elles sont nombreuses. Je citerai entre autres la multiplicité même des petits exploitants et leurs efforts rendus inefficaces par l'isolement... (voir plus haut p. 17 ce que j'ai dit des Carriérettes) [50], — le coût de ces exploitations, l'immobilisation des capitaux, la durée de la manutention et la mauvaise qualité des « têtes de couches », qui plus d'une fois découragea les efforts [51] — la faiblesse des moyens d'extraction et de travail — enfin l'insuffisance des moyens de communication et les frais de transport. Il est fait mention de ce dernier point à plusieurs reprises, notamment dans les considérants qui justifièrent, dans le troisième tiers du dix-huitième siècle, la constitution d'un corps d'administration pour le Comté et Gouvernement du Boulonnais (Administration Provinciale

49. BERTRAND. — Précis de l'hist. de Boul.-sur-mer. — 1829, vol. II, p. 445.

50. Un vestige de ces petites exploitations subsiste encore aujourd'hui à la carrière des Ramonettes (N° 1) où le propriétaire actuel M. Fasquel Sambon Jos. exploite son petit trou avec l'aide de deux tailleurs. Les bancs sont dépecés à l'aide de coins de fer. On utilise l'inclinaison des strates sur la surface desquelles, à l'aide de rouleaux, on fait glisser les blocs jusqu'au fond de la carrière. La pierre, taillée sur place, est remontée sur wagonnet plat actionné par un treuil à main.

51. GARNIER F. — Mém. géol. sur les terrains du Bas-Boul. — 1823, p. 14.

autorisée par lettres patentes du Roi Louis XV le 6 mai 1766 [52] — dans le projet d'un canal à créer entre Marquise et Ambleteuse [53] en vue de favoriser l'exploitation des carrières de marbre, projet qui n'eut d'ailleurs pas de suite.

Quant aux moyens d'extraction et aux instruments de polissage, ils furent longtemps précaires. On exploitait par gradins, aux coins de fer et au pic surtout [54] ; deux hommes armés d'une longue scie détachaient péniblement une à une les tranches de marbre que l'on polissait ensuite par frottement.

C'est au génie inventif de Frédéric Sauvage qu'on doit dès 1821 la « scie à lames multiples avec laquelle un seul homme pouvait enlever plusieurs tranches de marbres » [55] et le moulin horizontal [56].

La technique, aujourd'hui, est encore la même ; elle n'est que plus perfectionnée : la main-d'œuvre est le plus possible remplacée par la machine, et le vent, puissance précieuse mais par trop inconstante, a fait place à la vapeur et à l'électricité.

C. — Essor de l'industrie marbrière dans le Boulonnais.

Parmi les causes qui préparèrent de loin l'essor actuel de l'industrie marbrière dans le Boulonnais, il convient de faire une place aux inventions de Frédéric Sauvage qui, en améliorant le matériel, intensifièrent la production. Mais l'événement vraiment décisif fut la création des voies ferrées d'Amiens à Boulogne (17 avril 1848) et surtout celle de Boulogne à Calais (7 janvier 1867). Ce développement du réseau ferroviaire, entre autres effets, eut celui de dévier l'exploitation ; de la région de Blecquenecque elle gagna bientôt les abords de la ligne actuelle de Calais à Boulogne.

52. HAIGNERE. — Dictionn. du Pas-de-Calais. — Boulogne I (1880), p. 337.
53. GARNIER F. — Mém. géol. sur les terrains du Bas-Boul.— p. 15.
54. GARNIER F. — Mém. géol. sur les terrains du Bas.-Boul. — p. 26.
BERTRAND. — Précis de l'hist. de Boul.-sur-mer. — 1829, vol. II, p. 188.
55. DESEILLE E. — L'Année Boulonnaise. — pp. 510-514.
56. BERTRAND. — Précis de l'hist. de Boul.-sur-mer. — 1829, vol. II, p. 194.
« C'est à côté d'Elinghen que M. Frédéric Sauvage, connu par son génie inventif, a fait établir un moulin à vent, qui met en mouvement trente-deux scies à débiter des tables de marbre, et deux mécaniques servant à polir une grande quantité de carreaux. Près de cet établissement, le même mécanicien a construit un moulin horizontal, avec huit ailes et autant de bras, destinés à pousser en avant un certain nombre de carreaux, qui se polissent sur d'autres qu'on a fixés en terre. Une corde sans fin, plongeant dans un baril rempli d'eau, suffit, par sa rotation, à humecter tout le travail dont on n'a besoin de s'occuper que pour changer les carreaux à mesure qu'ils sont polis ».
On voit encore aujourd'hui un pan de mur, vestige d'un de ces moulins.

La deuxième étape dans la voie du progrès fut l'exploitation des carrières par des sociétés à gros capitaux, seules capables de faire l'effort voulu et de le prolonger. Il est utile de noter en passant que, dans ce genre d'exploitation, les deux premières venues, en règle générale, y laissèrent leurs os.

C'est ainsi qu'une des deux sociétés qui exploitent aujourd'hui en grand les gisements carbonifères du Bas-Boulonnais, la Société des Carrières de la Vallée Heureuse et du Haut-Banc, a pris naissance, il y a vingt-cinq ans, par la fusion de la Société Hénaux Frères avec la Société des Carrières du Haut-Banc. De ces deux firmes, la première avait racheté l'exploitation, le 22 juillet 1891, à la Compagnie Nationale des Travaux Publics qui, elle-même, avait succédé à un nommé Battel, exploitant de la carrière actuellement nommée « Carrière de la Vallée Heureuse » ; la seconde avait succédé à la Société des Carrières du Pas-de-Calais. Les deux sociétés primitives avaient jeté plus de dix millions dans l'affaire.

Actuellement, les carrières et l'exploitation sont dans leur plein rendement. Les variétés de Lunel et de Napoléon décorent en France de multiples façades ; j'en ai personnellement observé en Napoléon Pattes d'Alouettes et en Napoléon Grand Mélange à Paris, Strasbourg et Lille. Elles sont demandées de partout : de Belgique, d'Angleterre, surtout d'Allemagne et d'Amérique du Sud... ; les demandes affluent et certaines ne sollicitent pas moins de cinquante mètres cubes d'un seul coup.

Cet essor est fonction sans doute de la valeur de nos marbres, de la richesse de leurs tons ou de la beauté de leurs dessins ; il est fonction aussi des conditions de l'heure et, en particulier, de la dépréciation de notre devise par rapport aux devises étrangères. Pour pouvoir répondre à une clientèle qui s'accroît sans cesse, les exploitants de la carrière des Marbres du Boulonnais (C. Poulain) et de la carrière de la Vallée Heureuse (C. Hénaux) se sont vus dans la nécessité de munir leur front d'exploitation de grands portiques électriques. Le plus récemment installé est celui de la carrière de la Vallée Heureuse ; sa construction, commencée en octobre 1925, fut achevée en avril 1926. Ce portique, construit par les Etablissements Schneider et Cie, a une longueur de 122 mètres ; sa puissance est de 75 tonnes, sa portée utile de 110 mètres et sa hauteur de levage de 46 mètres (26 mètres au-dessus des voies, et 20 mètres en-dessous). Cet engin est indispensable dans tous les cas d'exploitation en profondeur, sans compter qu'il permet d'intensifier la production, de supprimer des manœuvres pénibles et dangereuses et d'éviter l'encombrement des chantiers d'extraction.

APPENDICE.

Il convient, en achevant, de signaler le parti que l'on peut tirer du marbre pour l'exécution de paysages entiers et l'essai qui en a été réalisé à Londres par deux experts marbriers de Liverpool, MM. John Stubbs and Sons, suivant les plans et avec la collaboration de M. Olivier P. Bernard. On trouvera, dans la « Revue des matériaux de construction et de travaux publics » (N° 230, de novembre 1928), une abondante illustration de ces panneaux décoratifs, une description des principaux motifs et une nomenclature des divers marbres français, italiens, grecs, suisses, irlandais, belges et africains utilisés pour l'exécution de ce travail.

Ce sont paysages lacustres et de montagne : « le Cipolin grec représente les eaux onduleuses du lac et le Cipolin suisse les parties plus distantes ; le Jade irlandais forme la verdure des collines et une grande plaque de Skyros grec, d'un poids de deux tonnes, et aux tonalités variées forme la montagne qui est au centre ; à l'arrière-fond une grande montagne neigeuse en Fleur-de-Pêcher italien ». Ailleurs, « l'arrière-fond est formé par une cascade dont les eaux bouillonnantes tombent de roche en roche, donnant une forte impression de vie et de mouvement. Des roches, des pins et des fûts tronqués d'autres arbres forment les premiers plans. On est surpris par la perspective et l'impression de profondeur qui donnent au paysage une réalité frappante ».

L'originalité de ces paysages, dont certains ont 6 m. de haut sur plusieurs centaines de mètres de longueur, réside dans ce fait qu'ils n'ont pas été exécutés au moyen de petits cubes assemblés comme dans la mosaïque, mais au moyen de grandes plaques dont il a fallu agencer les nuances et respecter les dessins naturels.

CHAPITRE II.

LES CALCAIRES VISÉENS, LEURS PRINCIPALES MANIÈRES D'ÊTRE. PLACE QU'OCCUPENT LES MARBRES DANS LA SÉRIE SÉDIMENTAIRE.

Avant de passer à la description détaillée des strates exploitées comme marbres, il me paraît indispensable, envisageant les choses du point de vue pétrographique, de définir la manière d'être des principaux types de calcaires. Je dirai ensuite quels rapports ils ont entre eux et dans quelle mesure ils entrent dans la constitution des marbres du Boulonnais, enfin je préciserai la place de ces derniers dans la série sédimentaire.

Ces marbres appartiennent tous à la catégorie des roches dites calcaires, c'est-à-dire constituées essentiellement et presque exclusivement par du carbonate de calcium cristallisé sous la forme calcite. Cette calcite se présente sous des aspects divers: cristaux extrêmement ténus et affectant la forme générale de petits grains ou *granules ;* éléments plus largement cristallisés, en rhomboèdres déformés, engrenés les uns dans les autres et formant *mosaïque.* Granules et calcite en mosaïque constituent la *matrice,* ou fond de la roche, dans laquelle sont comme enrobés des *éléments figurés* divers. C'est en me basant sur la nature de la matrice et la proportion des éléments cristallins, granules et mosaïque qui la composent — sur la nature, la proportion et la disposition des éléments figurés, que je définirai les principaux types que peuvent présenter les roches calcaires.

I. — LES CALCAIRES VISEENS, LEURS PRINCIPALES MANIERES D'ETRE.

A. — *Parmi les calcaires dépourvus d'éléments figurés,* il en est qui paraissent exclusivement formés de granules calcaires. Ces « *calcaires granuleux* » sont l'équivalent exact de ceux que les stratigraphes ont coutume d'appeler calcaires compacts. Leur cassure conchoïde est carac-

téristique ; et leur texture très fine ne se décèle ni à la loupe à main ni au binoculaire (cf. Pl. XXI, fig. 96 et 99 partim ; Pl. XXII, fig. 101 et 102, portion inférieure).

Dans les « *calcaires grenus* » au contraire, il y a, sinon exclusivité, du moins prédominance de la forme en mosaïque ; et la matrice est toujours plus ou moins abondamment chargée d'organismes entiers ou en débris. Ces roches ont un toucher rugueux ; elles présentent des variétés de grain dont la distinction est basée sur leur richesse en débris organiques et sur la taille de ces débris. Comme type de grenu grossier je citerai les calcaires crinoïdiques et à entroques, les calcaires coquilliers etc... Les bancs de calcaires grenus, sous l'action des agents atmosphériques, s'altèrent en surface et prennent une teinte grise caractéristique qui tranche nettement sur la teinte blanchâtre des calcaires à prédominance granuleuse.

Entre les calcaires grenus, nettement caractérisés, à prédominance de calcite en mosaïque et le calcaire granuleux, il y a place pour un type mixte qui tient à la fois de ces deux types extrêmes. L'élément granule y est très développé et constitue avec la calcite en mosaïque le fond de la roche mais il n'y est pas exclusif comme dans le calcaire granuleux. Par sa cassure, il diffère à la fois des uns et des autres et correspond assez bien à ce que les stratigraphes ont coutume d'appeler calcaire subcompact. Attribuant son aspect particulier à sa pauvreté en organismes ou à leurs dimensions microscopiques, je le classerai jusqu'à nouvel ordre dans les *calcaires grenus à grain fin*. Le type en est représenté par le marbre «Lunel uni» dans ses portions peu organiques (cf. p. 85 et Pl. IX, fig. 36).

B. — Outre les organismes et fragments d'organismes, les calcaires montrent des *éléments figurés de natures diverses.*

Les uns se présentent sous forme de corps ronds ou ovalaires, constitués par un petit corps central ou « noyau », recouvert d'une croûte épaisse à texture radiaire et concentrique ; l'ensemble de ces balles structurées et de la calcite en mosaïque qui remplit les interstices qu'elles laissent entre elles constitue le « *calcaire oolithique* ». Mais ce revêtement cortical peut faire complètement défaut ; l'ensemble du sédiment prend alors l'aspect d'un gravier dont les éléments ou « gravelles », à angles émoussés et arrondis, sont d'origine diverse, organique ou non. Entre ce faciès « *graveleux* » et le calcaire oolithique ci-dessus mentionné, il y a des termes de passage, par ex. le *calcaire gravelo-oolithique* dont les

éléments sont caractérisés par la taille volumineuse de leur noyau et la minceur de leur écorce.

Certains sédiments calcaires, enfin, sont chargés d'amas informes de calcaire granuleux et constituent ce que j'appellerai après M. KAISIN des « *calcaires grumeleux* ». Les éléments, à contours indécis, et peu homogènes, n'ont rien de commun avec les gravelles; ils n'ont pas subi de transport.

Les sédiments oolithiques, graveleux, gravelo-oolithique et grumeleux se présentent sous deux aspects: dans certains cas, ils montrent à l'évidence des traces de stratification entrecroisée (« *calcaires oolithiques* etc.... *à structure entrecroisée* ») ; ailleurs, ils peuvent prendre une allure rubanée et semblent s'être déposés en petits lits différents les uns des autres par leur nature et la grosseur du grain. Ces dépôts successifs, parfois, sont séparés par des croûtes continues de carbonate de calcium qui accentuent encore le rubanement. Ces « *calcaires rubanés* » [57] forment des complexes plus ou moins puissants et se répètent à divers niveaux du Viséen moyen et supérieur du Boulonnais.

Il peut se faire qu'un même ruban, au lieu d'être simple et d'une venue, se décompose en nombreux petits cordons linéaires de l'ordre du millimètre, de teinte et de nature différentes ; c'est le « *calcaire zonaire* ».

C. — Tous ces calcaires que je viens de décrire brièvement dans leurs traits essentiels sont susceptibles, par métasomatose, d'être modifiés profondément dans leur composition chimique. Une partie de leur carbonate de calcium est remplacée par un carbonate double de calcium et de magnésium ($CaCO^3 + MgC0^3$) ; en règle générale, il y a un excédent de carbonate de calcium. Les calcaires ainsi transformés forment des sédiments dolomitiques et, suivant l'intensité de la substitution, il y aura lieu de distinguer en ordre décroissant des *dolomies grenues*, des *calcaires dolomitiques* et des *calcaires ponctués de rhomboèdres de dolomite*. Dans les dolomies grenues, toute trace de structure du calcaire originel semble avoir disparu de même que les fossiles ; mais il reste des vestiges de ces derniers dans les calcaires dolomitiques.

57. Pour plus de clarté dans l'exposition, il y a lieu de préciser les significations respectives des termes « structure » et « texture ». Le terme de « rubané » définit une *structure* c'est-à-dire le mode d'arrangement de parties élémentaires multiples et diverses par leur nature vg. corps oolithiques, grumeaux, gravelles; on dira par ex. calcaire oolithique à structure entrecroisée ou calcaire oolithique rubané. — Le mot *texture* précisera, non pas le mode d'arrangement des parties élémentaires entre elles, mais le mode d'arrangement intime des parties élémentaires en elles-mêmes. Ainsi un calcaire graveleux sera dit de texture granuleuse ou grumeleuse suivant que ses gravelles seront de calcaire granuleux ou grumeleux.

II. — PLACE QU'OCCUPENT LES MARBRES DANS LA SERIE SEDIMENTAIRE.

2. *C. du Haut-Banc abandonnée*

1. *Carrière du Haut-Banc actuellement en exploitation (adossée à la carrière de Basse Normandie).*

4 m. 80 *Complexe blanchâtre,* très finement strié ;
alternances de calc. compact et de dépôts grumeleux ou graveleux (raies grisâtres) ayant tendance à se résoudre en petits lits.
Au milieu, un cordon coquillier de 25 cm.
Sommet rayé de noir (dolomitique).

0 m. 70 env. : *Marbre Henriette.*

1 m. 80 *C. grenu,* présentant quelques délits (calc. de Tabulés) et un niveau à nombreux *P. Cora.*

0 m. 70 *Marbre Caroline :* calc. rubanés (débris d'organismes laminaires).

1 m. 20 *C. grenu,* avec niveaux organiques (calc. de Foraminifères et de Tabulés).

2 m. 00 à 2 m. 50 *Rubanés,* en petits bancs, plus accentués dans le bas, moins accentués dans le haut où le calc. granuleux domine.
Grumeleux de tous grains, les plus fins mimant le calc. compact. De loin en loin, un ruban nettement organique. Légèrement dolomitisé.

1 m. 40 *C. grenu fin* (calc. de Foraminifères et de Granulosphères), avec niveaux organiques (entroques et esquilles).

6 m. 25 *C. grenu* prédominant, alternant
dans le haut, avec des épisodes grumeleux et des organismes laminaires,
dans le bas, avec des épisodes graveleux. Dolomitisé.

1 m. 20 *C. grenu fin* (calc. de Foraminifères et de Granulosphères) ou grossier avec niveaux organiques à entroques, Polypiers et *Syringopora,* et cordons coquilliers.

6 m. 15 à 6 m. 65 : Alternances régulières de dépôts à facies *graveleux* et *grumeleux,* avec organismes laminaires formant rubans.
Faune spéciale, représentée par de nombreux *Mitcheldeania,* Ostracodes, Céphalopodes et Gastéropodes.
Très dolomitisé, à nombreuses plages recristallisées ; passant au grenu dans le haut.

1 m. 55 *C. graveleux* de grains divers entrecroisés et gravelo-oolithique, (« *Banc de Onze Pieds* ») avec petits épisodes oolithiques entrecroisés et niveaux organiques : entroques, fragments de Gastéropodes, Foraminifères, Brachiopodes et *Mitcheldeania.*

Une revue détaillée de toutes les carrières, de toutes les tranchées de chemin de fer, de tous les affleurements dont j'ai fait l'étude, serait inévitablement fastidieuse par la répétition des mêmes détails et la monotonie avec laquelle se répètent les roches calcaires de même type. Je me contenterai donc de passer en revue la succession carbonifère au sud de la faille de Ferques, succession intéressée d'est en ouest par les carrières du Haut-Banc, du Petit Haut-Banc, de Basse-Normandie, de la Vallée Heureuse et par la carrière Poulain dite des Marbres du Boulonnais. Une fois indiqués et précisés les principaux types-repères, ce sera un jeu de signaler leur présence dans les autres carrières et affleurements. La succession que j'ai reproduite dans mon tableau est celle du lambeau de poussée qui, venu du sud, a chevauché la succession normale recoupée en profondeur par le sondage de la Vallée Heureuse et recouverte localement par le houiller (mine d'Elinghen).

A. — La série débute (cf. Tableau p. 34) à la carrière du Haut-Banc, par un épisode graveleux (« *Banc de onze pieds* ») auquel succèdent une vingtaine de mètres de *rubanés interrompus par des épisodes grenus*, les uns à grain fin (calcaires de Foraminifères, calcaires de Granulosphères), les autres plus grossiers, à entroques, Polypiers et Brachiopodes, parfois accumulés en nombre et formant des cordons coquilliers. Ces rubanés sont nettement organiques et constitués par des organismes laminaires et par des dépôts de type graveleux et grumeleux résultant de leur destruction. Le *marbre Caroline* appartient au sommet de cette série rubanée; les organismes ne s'y retrouvent guère qu'à l'état de débris, et, dans certains petits lits, à l'état de rubans fragmentés. Il est séparé du *marbre Henriette* par un complexe grenu, présentant quelques délits schistoïdes à calcaires de Tabulés et un niveau à nombreux *Productus Cora.*

B. — Plus haut (cf. Tableau p. 36), les bancs rubanés massifs que je viens de décrire font place à des complexes très délités qui alternent avec des épisodes à facies grenu. L'ensemble constitue toute une série de complexes blanchâtres [58] et de complexes gris qui s'étagent et se succèdent sur 40 mètres et plus de hauteur.

58. Ces termes de complexes blanchâtres et de complexes gris sont d'un emploi commode et répondent à un aspect curieux que prennent les formations calcaires sous l'action des agents atmosphériques et du soleil. Les calcaires granuleux et ceux chez lesquels prédomine l'élément granule (vg. grumeleux, et graveleux de calcaire granuleux) s'altèrent en blanc — les facies au contraire où domine la calcite en mosaïque (calc. grenus) prennent, en s'altérant, une teinte grisâtre.

3. *Tranchée et carrière de Basse-Normandie.*
2. *Carrière du Haut-Banc actuellement abandonnée.*
1. *Carrière du Haut-Banc en exploitation.*

1 m. 25 *Complexe blanchâtre* en petits bancs dans le bas, en plaquettes dans le haut : alternances de *C. granuleux* et *grumeleux* avec gravelles. Altéré et peut-être dolomitisé à sa partie supérieure (rosée et jaunâtre).

5 m. 00 env. : *C. grenu* rosé, fin ou grossier, d'aspect saccharoïde, à entroques, avec de gros *Productus* dans le bas et des niveaux de Polypiers. Localement dolomitisé au niveau des Polypiers qui sont légèrement silicifiés.

6 m. 00 *Complexe blanchâtre* de calcaire bleu ou rosé *en petits bancs et plaquettes :* Dépôts successifs de calc. granuleux, interrompus par des lits de gravelles ou de grumeaux roulés. Pas d'organismes.
Vers le haut, le facies change : Graveleux rosé avec Polypiers ; quelques géodes et un commencement de dolomitisation.

2 m. 40 *Complexe* rosé et jaunâtre de calc. *grenu,* plus ou moins dolomitique suivant les niveaux avec *Silex* vers le milieu et un niveau à Polypiers (tiers supérieur).

2 m. 25 *Complexe blanchâtre en bancs et plaquettes :* Dépôts de calcaire compact brun noir, séparés par de petits lits détritiques avec gravelles et débris d'organismes.

3 m. 60 *Complexe gris* de *c. grenu* à entroques et esquilles ;
à la base, banc à nombreux Polypiers.
Dolomitisé et silicifié.

6 m. 90 *Complexe de plaquettes,* interrompu par deux gros bancs : rubans de calcaire compact, séparés par des lits minces de nature détritique (fragments de calc. compact et débris organiques : nombreuses esquilles, épines de *Productus*). *Très* dolomitisé.

Niveau argileux rouge.

---

5 m. 00 à 5 m. 50 : *Complexe blanchâtre* en gros et petits bancs.

6 m. 08 *Complexe* gris de C. *grenu.*

Les *complexes gris* sont constitués par des calcaires *grenus* types avec organismes nombreux et variés: Crinoïdes, radioles d'Oursins, Tabulés et Polypiers, Brachiopodes entiers ou en esquilles, etc... L'un d'eux mérite une attention spéciale parce qu'il peut servir de repère pour s'orienter dans la série; c'est un complexe de calcaire grenu de teinte rosée et jaunâtre, d'une puissance de 2 m. 40, dolomitique suivant les niveaux, et présentant un ruban de *silex*. Ce ruban est discontinu et peut prendre l'aspect de rognons mais il est constant. Je l'ai retrouvé partout où je devais normalement le retrouver: j'en ai retrouvé des fragments au fond de la carrière du Petit Haut-Banc dans les déchets; je l'ai observé en place dans la tranchée du chemin de fer entre le passage à niveau du Haut-Banc et celui du Hure un peu avant le pont et la voie de décharge de la mine d'Elinghen — dans la Vallée Heureuse, sur la rive gauche — dans la tranchée du chemin de fer entre le passage à niveau du Haut-Banc et la carrière de Basse-Normandie — enfin, au fond de la carrière de Basse-Normandie.

Les *complexes blanchâtres*, par contre, sont nettement différents par leur aspect extérieur et par leur nature. Ils se résolvent en général en petits bancs et plaquettes; ce sont des *dépôts successifs de calcaire granuleux interrompus par des lits minces de caractère détritique* (fragments de calcaire granuleux roulés et aplatis mêlés de débris organiques, esquilles et épines de Brachiopodes, etc....). Ces délits détritiques plus ou moins dolomitisés suivant les niveaux et colorés en rouge et jaune par des oxydes de fer tranchent sur la teinte blanchâtre des rubans granuleux.

Les termes supérieurs de cette série sont marqués par un phénomène de dolomitisation plus net et plus constant qui annonce l'approche du complexe dolomitique à *Lithostrotion Martini*.

C. — *Le complexe dolomitique à Lithostrotion Martini* (cf. Tableau p. 38) comporte 7 m. de dolomie grenue et de calcaire dolomitique qui, au centre de la carrière de la Vallée Heureuse, supportent les bancs blancs exploités comme marbre Lunel.

De ces sept mètres, les quatre mètres inférieurs seuls témoignent d'une dolomitisation accentuée; ce sont des dolomies grenues et des calcaires dolomitiques de texture illisible mais vraisemblablement grenue. Plus haut (trois mètres supérieurs), les sédiments magnésiens font place à des calcaires francs, du type grenu, plus ou moins fins, interrompus par des niveaux coquilliers et des intercalations oolithiques ; la dolomitisation ne s'y montre plus qu'à l'état sporadique (2 épisodes dolomitiques).

5. *Carrière des Marbres du Boulonnais.*

4. *Carrière Hénaux de la Vallée Heureuse.*

3 (*Suite*) *Tranchée et Carrière de Basse-Normandie.*

1 m. 25 à 1 m. 40 : *Marbre Joinville :* Calcaire grenu à nombreux débris organiques (entroques).

8 m. 00 de petits bancs;
à la base de la série, un naissain de petits Céphalopodes.

3 m. 50 *Lunel N° 1 ou Rubané Notre-Dame* très délité ;
plus foncé et à veines rouges dans le haut,
plus clair dans le bas et à rubans moins prononcés.

1 m. 30 à 1 m. 50 : *Napoléon Gris,* de même nature que le Napoléon Tigré, mais de teinte plus claire.

2 m. 50 *Lunel Rubané N° 2* à rubans larges et à fragments de « Pattes d'Alouettes ».

0 m. 80 à 1 m. 20 : *Napoléon Tigré* dit « *Pattes d'Alouettes* » essentiellement constitué par des organismes en buisson.

4 m. 00 *Napoléon Grand Mélange* d'une épaisseur de 4 mètres en moyenne ; mais variant beaucoup en épaisseur et en aspect. Brèche.
dans le haut : Brèche d'organismes ; amas de petits Brachiopodes.
dans le bas : Brèche de rubanés (« Bâtons rompus »).

4 m. 00 *Rubané* simple ou complexe (Calc. zonaire), compact et grenu de texture grumeleuse, graveleuse et oolithique ;
vers le haut, niveaux à coquilles encroûtées et alignées.

25 m. 25 env. : *Marbre Lunel :* Grenu plus ou moins fin, gris ou rosé, à niveaux coquilliers (*Lunel uni*) —
interrompu dans son tiers inférieur par des formations organiques (*Lunel fleuri*) —
et par de rares épisodes oolithiques (Lunel, *partie « pierre »*).

6 m. 00 environ : *Dolomie à Lithostrotion Martini.*

0 m. 90 à 1 m. 00 : Calcaire grenu plus ou moins dolomitisé : grenu ponctué de rhomboèdres de dolomite, à entroques, esquilles, Brachiopodes ;
en bas : dolomie sans texture ni organismes visibles.

0 m. 60 Calcaire rosé, surtout compact, avec dépôts plus grossiers grumeleux et graveleux ;
dolomitique dans le haut.

0 m. 95 à 1 m. 05 : 4 bancs noirs, rouges et jaunes :
Dolomies et calc. dolomitiques de texture grenue à entroques et esquilles.

Dans la carrière de la Vallée Heureuse, les bancs sous-jacents à la dolomie à *Lithostrotion Martini* ne sont découverts que sur une épaisseur d'environ 12 mètres. Ce sont des *calcaires grenus* interrompus, vers le milieu de la hauteur, par un calcaire grumeleux rubané, agrémenté de digitations verticales qui rappellent étrangement l'organisme du marbre Henriette; ils sont en outre caractérisés par des phénomènes de silicification et de dolomitisation constants mais beaucoup plus accentués dans les huit mètres inférieurs (*niveaux siliceux à rognons,* épisodes dolomitiques intenses).

D. — Les marbres aujourd'hui exploités (cf. Tableau p. 38) sont, tous, localisés à la partie supérieure du Viséen. Ils débutent, au centre de la carrière de la Vallée Heureuse, par la série des bancs (25 mètres) exploités comme *marbre Lunel* [59]. A ces bancs se superposent des formations calcaires qu'on exploite comme marbres dans la «Carrière des Marbres du Boulonnais» (C. Poulain) [60] et qui sont représentés par un calcaire bréchoïde d'une puissance de 4 mètres en moyenne (*Napoléon Grand Mélange*), par des tufs organiques (*Napoléon Tigré* et *Napoléon Gris*), et par des rubanés (*Lunel Rubané N° 2 et Lunel Rubané N° 1 ou Notre-Dame*).

59. Cf. Planche I fig. 1.
60. Cf. Planche I fig. 2.

CHAPITRE III.

MARBRE HENRIETTE.

Son Histoire.

L'histoire du marbre Henriette est malaisée à établir ; la date d'origine de son exploitation est difficile à préciser. Les plus vieux carriers de la région boulonnaise ne pourraient fournir aucun renseignement de quelque valeur à ce sujet; tout ce qu'on peut affirmer c'est que certaines maisons datant du XVI[e] siècle possèdent des cheminées en «Henriette». Mais cet argument est bien précaire; rien ne prouve que ces cheminées sont du XVI[e] siècle, et n'ont pas été installées à une date ultérieure. La seule que j'aie pu voir est, de par son style, à dater de la première moitié du dix-neuvième siècle (probablement Louis-Philippe).

Il y a 25 ans, ce marbre était encore exploité pour les travaux de marbrerie à la carrière du Haut-Banc; mais en l'année 1906, la Société des Carrières de la Vallée Heureuse et du Haut-Banc cessa l'extraction de ce marbre en blocs. Plus récemment enfin, il y a de cela deux ou trois ans, elle acheva la concentration des locaux et du matériel de marbrerie sur Hydrequent. Actuellement, le banc Henriette sert à alimenter des concasseurs et ne fournit plus que du caillou pour routes, pour ballast et pour béton.

Ses Gisements.

Du point de vue stratigraphique, le banc Henriette présente un intérêt tout particulier par sa constance et l'allure toute particulière de

l'organisme qui le constitue ; *il caractérise le niveau moyen de l'Assise à Productus Cora.*

Le « marbre Caroline », qui appartient au même niveau et à la même assise, est, au contraire, difficile à distinguer d'autres rubanés qui pullulent au même niveau.

J'ai dit que le banc Henriette formait un niveau constant, et, de fait, partout où les conditions d'exploitation étaient favorables, j'ai pu le retrouver. Je l'ai rencontré au nord et au sud de la faille de Ferques; au nord de cette faille, dans deux carrières actuellement abandonnées et distantes à vol d'oiseau d'environ 3 à 4 kilomètres. Dans l'une d'elles, sise au nord du ruisseau de Crembreux et ouverte à l'ouest de la voie ferrée qui dessert la carrière Randon et remonte vers le nord-est sur le Hure et Beaulieu, je n'ai repéré le banc Henriette qu'avec la plus grande peine et après de longues recherches. Ce banc y est coupé par une faille verticale accompagnée d'un décrochement ; le banc, disloqué, vient mourir au sol contre la faille et disparaît brusquement. L'organisme Henriette que j'ai pu trouver en place dans un fragment de 10 cm.² environ y paraît localement peu développé — autre circonstance qui explique la difficulté rencontrée dans le repérage de ce niveau. L'autre carrière (carrière des Ramonettes n° 2, cf. Carte n° 9) située au nord-ouest près le Bois Sergent intéresse ce banc sur une assez grande étendue. Je donnerai plus loin une coupe verticale de ce dernier gisement: le banc Henriette y est bien développé; des traces d'exploitation au fil d'acier y témoignent d'une extraction en blocs, vraisemblablement à fin de marbrerie.

Au sud de la faille de Ferques et au voisinage immédiat du passage à niveau du Haut-Banc, le banc Henriette se retrouve au fond de la carrière abandonnée du Petit Haut-Banc à son extrémité orientale — et dans la carrière en activité du Haut-Banc où on l'a extrait en blocs pour travaux de marbrerie jusqu'en 1906. Cette dernière carrière dans son extrémité nord-est, représentant approximativement le centre du dôme du Haut-Banc, on voit le banc Henriette s'incliner dans toutes les directions. En face de la maisonnette du passage à niveau on le voit légèrement incliné au sud; puis il s'incline vers le nord. Cette pente d'abord légère ne tarde pas à s'accentuer et Henriette s'ennoie pour aller constituer, à peu de chose près, le plancher de la « Carrière du chemin de fer du Nord ».

Je terminerai cet exposé des gisements du banc Henriette par une coupe verticale comparative des facies nord et sud de cette formation. On y constatera de sensibles différences dans l'aspect extérieur de cet organisme et dans son développement vertical.

MARBRE HENRIETTE

	Carrière des Ramonettes (n. 2) Facies Nord		Carrière du Haut-Banc Facies Sud
		1.90	Calcaire blanchâtre en petits bancs, rubané.
1.45	Calc. rubané, blanchâtre.		Banc coquillier (petits Brachiop.).
			se délitant dans le haut.
0.30	Banc coquillier (petits Brachiopodes).		Calcaire blanchâtre rubané (compact avec petits épisodes graveleux).
0.80	Calc. blanchâtre, rubané. Alternances de dépôts de grains divers (compact et graveleux) donnant naissance à un aspect plus ou moins rubané.	2.35	
0.50	*Organisme Henriette* bien développé mais incrustant et sans digitations.		base: continuation d'Henriette.
0.35	Calcaire rubané.		*Marbre Henriette* (digitations verticales).
		0.70	
1.00	*Organisme Henriette* { nombreux petits Brachiopodes les uns libres, les autres encroûtés (nodules).		en petits bancs, se délitant vers le haut.
	sur 30 ctm.: graveleux et gravelo-oolithique.		
1.30	Calcaire grenu à faune ordinaire (entroques, Polypiers, Brachiopodes) avec quelques niveaux organiques.	2.10	Calcaire grenu à faune ordinaire, avec niveaux organiques.
0.60	Calcaire rubané: *Caroline.*	0.60 env.	partie claire: Calc. rubané: *Caroline.*
	Grenu fin à Granulosphères nombreuses.	0.35 env.	partie sombre: Calc. grenu avec nivx organiques.

I. — L'ORGANISME DU MARBRE HENRIETTE ; SA MORPHOLOGIE.

L'organisme qui constitue le marbre Henriette, bien que très simple de texture puisqu'il se réduit en dernière analyse à un amas de tubes plus ou moins contournés et enchevêtrés, sans dessin et sans orientation particulières, affecte cependant des allures très diverses. Il se présente soit sous forme de croûtes enrobant des organismes ou des fragments d'organismes — soit sous forme de masses plus vastes, encroûtantes elles aussi, mais étalées horizontalement, à contour irrégulier et échancré, à surface bossuée et mamelonnée. Ces croûtes organiques sont susceptibles de prendre un grand développement vertical ; elles présentent alors, en coupe perpendiculaire à la sédimentation, des *digitations* caractéristiques qui se dressent de la base du banc vers la partie supérieure (fig. 8).

Fig. 5. — Essai de reconstitution de *Polymorphocodium Lapparenti.*
Le dessin représente un fond de mer ; l'organisme s'y montre étalé en vastes croûtes horizontales, bossuées, agrémentées de menus bourgeons — mais susceptible de prendre de-ci de-là un grand développement vertical. L'organisme, entièrement constitué par des tubes, est plutôt à considérer, me semble-t-il, comme une colonie d'Algues tubulaires ; la variété même des formes en est une preuve. Il s'agit d'Algues formant, sur le fond, des tapis d'inégal développement vertical, mourant et se calcifiant par la base, tout en continuant à se développer en hauteur.

La première forme donne naissance à des nodules, en tout analogues aux « Knollen » décrits par ROTHPLETZ et provenant du Trias supérieur des Alpes Orientales (1889, 1891), du Silurien supérieur de Gothland (1908) et, plus récemment (1911), du Dévonien supérieur de Liebichau en Silésie. J'ai trouvé dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais (carrière des Ramonettes, des deux la plus méridionale) à 2 m. environ au-dessus du marbre Caroline un niveau organique où ces nodules pul-

lulent. C'est un ruban d'une épaisseur de 25 cm. environ, bourré de petits Brachiopodes, les uns libres, la plupart encroûtés donnant lieu à la formation de petits nodules ; mais ces nodules ne se dégagent pas, emprisonnés qu'ils sont dans une gangue calcaire compacte et homogène.

La seconde forme, que je me bornerai à décrire en détail, présente sur le marbre, intéressé « dans sa passe » [61], l'aspect de lames à contours extrêmement irréguliers et à direction très capricieuse, montrant, suivant les places, des portions dilatées à structure complexe et des portions à structure beaucoup plus simple et pédonculées (cf. Pl. II, fig. 3). Ces lames, qui paraissent ici nettement séparées et individualisées, pourront, en d'autres points du banc, s'étendre l'une vers l'autre, se rappro-

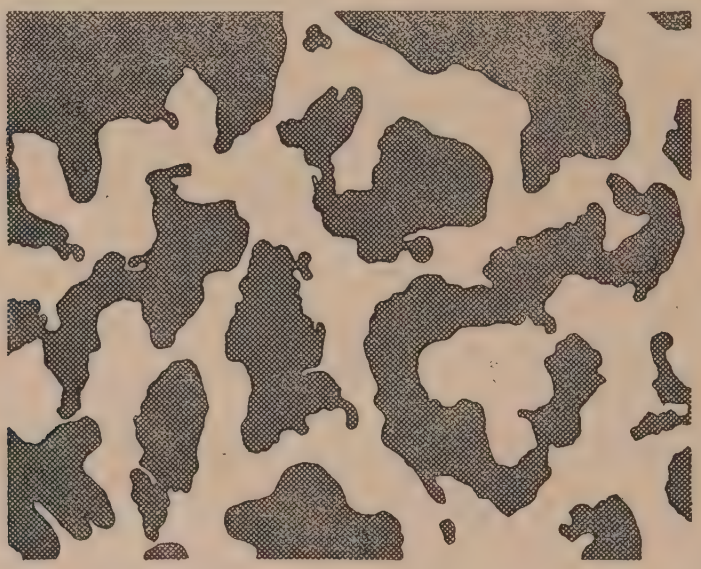


Fig. 6. — Organisme du marbre Henriette (*Polymorphocodium Lapparenti*), vu en section transversale (réduction au tiers).
L'organisme se détache en grisé sur la vase calcaire qui le moule (portions du dessin laissées en blanc).

cher et donner naissance à une masse réticulée, bossuée, à mamelons séparés par autant de dépressions (fig. 7). Dans les deux cas, les aspects verticaux seront très différents ; et l'on comprendra facilement qu'une coupe dirigée de X en Y sur la fig. 3 de la planche II donne naissance à une série de chandelles ou de digitations verticales, produites par les

61. Tailler un marbre « *dans sa passe* », c'est le tailler suivant le lit de carrière ; « *en contrepasse* » ou sur front de carrière sont des expressions synonymes.

recoupements des lames. C'est cet aspect caractéristique que présente le front de carrière quand les lames sont nettement individualisées. Le sédiment qui sert de gangue à cet organisme est un calcaire à grain fin qui, suivant les places, peut passer à un calcaire compact ou, au contraire, manifester une tendance grumeleuse ou graveleuse. En lame mince, il se présente comme un calcaire granuleux à organismes et débris d'organismes (cf. Pl. II, fig. 5). Les principaux éléments figurés sont, avec les fragments de Tabulés, des sphérules du type *Calcisphaera* Williamson et des Ostracodes. Ces derniers, par places, sont fort nombreux, entiers ou en esquilles. Suivant l'échantillon étudié, l'un ou l'autre groupe d'organismes peut prédominer. J'ai, en outre, observé quelques prismes de Lamellibranches — mais à titre exceptionnel.

Se basant sur la nuance du fond, c'est-à-dire de la gangue, les exploitants ont distingué une « Henriette blonde », une « Henriette brune », et une « Henriette noire » ; quoiqu'il en soit de la teinte du sédiment et de

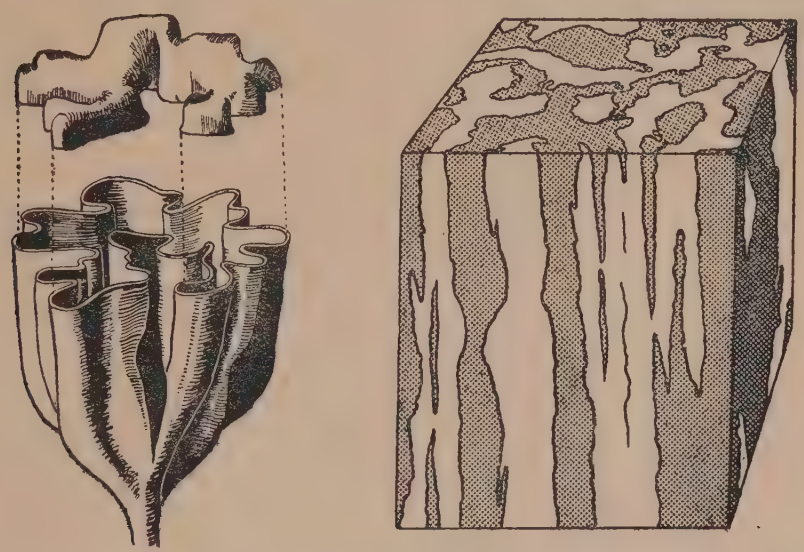


Fig. 7. — *Polymorphocodium Lapparenti* sectionné, mettant particulièrement bien en relief l'allure en lame sinueuse et échancrée que prend l'organisme en section horizontale, et les aspects de digitations verticales qu'il présente sur front de carrière.

L'intérieur est entièrement constitué par des tubes dont l'état de conservation est souvent précaire, et qui sont remplacés par des amas de grumeaux, des plages de calcite hyaline et de calcite colorée en brun. Quelques menus organismes (*Ammodiscus filum, Granulosphaera*) et fragments d'organismes (Ostracodes) se retrouvent en plein milieu de l'organisme.

Fig. 8. — Bloc perspectif du marbre Henriette, montrant les rapports qui existent entre les digitations verticales que présente l'organisme sur front de carrière et les aspects tourmentés qu'il prend sur lit de carrière. L'organisme se détache en grisé sur le calcaire (calcaire granuleux ou grumeleux) dans lequel il est enrobé et qui ressort en blanc sur les trois faces du bloc.

l'allure de l'organisme, la texture est toujours identique. Prenons donc comme type l'Henriette brune (carrière du Haut-Banc), forme digitée à grand développement vertical (cf. Pl. II, fig. 3).

II. — ANATOMIE.

A. — Structure en général.

Le marbre poli montre sur un fond jaunâtre un organisme en lame échancrée et à contour irrégulier, de teinte brun foncé relevé par de petits liserés blanchâtres. Cette alternance plus ou moins régulière de zones linéaires d'un blanc laiteux et de plages d'un brun sombre que l'on observe sur le marbre poli, se traduit en lame mince par deux textures nettement différentes ; les liserés blancs, compacts et granuleux, montrent une texture extrêmement ténue, les plages sombres au contraire sont surtout floconneuses et ne montrent que rarement une texture bien conservée (Pl. III, fig. 9, moitié inférieure de la photographie). Etudions successivement ces diverses parties.

B. — Texture.

1. — Les *liserés blancs,* dans les portions où ils sont le mieux conservés, montrent, sur un fond noir homogène de calcaire granuleux, des taches blanches de calcite hyaline. De ces taches, les unes sont punctiformes, les autres linéaires, d'autres enfin, en forme de petits tubes courts et ondulés, affectant l'allure de petits vers. Elles représentent les sections transversales, obliques et longitudinales de petits tubes à lumière réduite, contournés et enchevêtrés ; que ces tubes soient bifurqués, c'est là un caractère qui ne me paraît pas faire de doute, encore qu'il soit fort malaisé à constater en raison du faible diamètre des tubes, de leur tassement, de leur enchevêtrement et parfois aussi de leur état de conservation.

Comparativement, ces zones à texture compacte sont d'une manière générale bien conservées. On observe assez nettement les sections de tubes limitées par deux lignes sombres granuleuses qui en sont les parois — en d'autres points, au sein d'une plage granuleuse on observe de petits tractus blancs d'allure hiéroglyphique qui représentent les remplissages par la calcite de la lumière des tubes dont les parois se confondent avec le fond granuleux intertubulaire. Cette texture enfin montre, en certains points rares, une tendance à se désagréger et l'on n'observe plus dès lors qu'une plage granuleuse qui, par son peu d'homogénéité, laisse soupçonner l'existence primitive de tubes périmés

et de vermiculures réduites à l'état de schème. Cette texture est tellement fine qu'il est impossible d'en donner une bonne reproduction photographique (cf. Pl. II, fig. 4, zone granuleuse dans le haut; Pl. III, fig. 6, lisière droite de la photographie).

2. — Le reste de l'organisme est constitué par un *tissu moins serré et moins compact*, et de texture moins bien conservée. Dans la majorité des cas, on n'observe nettement ni vermiculures, ni parois, ni lumière, mais tout est remplacé soit par une plage floconneuse à texture indiscernable — soit par une plage granuleuse, peu homogène, où les granules plus ou moins régulièrement agglomérés donnent l'impression de vermiculures diffusées (cf. Pl. III, fig. 8 et 9).

En certains points pourtant et sous forme de petits massifs isolés, on voit reparaître les vermiculures. Les tubes sont d'un calibre beaucoup plus fort ; leurs sections affectent les formes les plus variées d'accents circonflexes, de festons et surtout de petits boyaux ondulés dont l'ensemble prend l'aspect d'un amas de petits vers grouillants (Pl. II, fig. 4 et Pl. III, fig. 10). Ce sont, somme toute, des tubes ondulés, plus ou moins réguliers d'allure et présentant de distance en distance des bifurcations.

Fig. 9. — Bloc perspectif, schématisant la texture de *Polymorphocodium Lapparenti.*

Les liserés blancs, qui s'observent sur le marbre poli, sont de texture compacte, et formés de tubes de très faible calibre, entassés et enchevêtrés. Les portions foncées sont constituées par un tissu moins serré et moins compact de texture, moins bien conservé ; il se présente, en section transversale, sous forme de boyaux et de vermiculures orientées qui ne sont autre chose que des sections de tubes fortement ondulés.

Ces bifurcations ne font pas de doute encore que rarement elles soient très nettes (petits boyaux en forme de gamma grec — cf. Pl. III, fig. 10).

Dans les échantillons bien conservés (ils sont très rares — j'en ai observé un seul), on constate que cette texture est continue et s'étend à la zone entière.

Dans son ensemble donc, l'organisme est formé de tubes. Les uns, à lumière réduite, enchevêtrés, entassés en un tissu compact, forment, sur le marbre poli, des liserés blancs. Dans les portions foncées de l'organisme, les tubes sont de plus fort calibre, moins tortueux mais à course ondulée irrégulière, eux aussi bifurqués. Ils sont exceptionnellement nets, le plus souvent fondus en une plage granuleuse et peu homogène qui garde comme le schéma de la texture organique.

Ces deux textures constituent, dans l'organisme, deux zones parfaitement individualisées. Je n'ai guère observé de passage de l'une à l'autre, mais ces rapports ne font pas de doute pour moi. De temps à autre en effet, dans une zone à texture périmée et intermédiaire entre deux liserés blancs, j'ai observé de petits fragments de gros tubes à direction perpendiculaire aux deux liserés; mais jamais, je n'ai pu voir à l'évidence les petits tubes se distendre pour donner naissance à de plus gros.

C. — Quelques particularités.

J'en ai fini avec les détails qui ont trait à la texture essentielle de cet organisme ; il me reste à signaler quelques particularités que j'ai observées localement dans les zones superficielles.

1. — *Ampoules.*

Localement et dans les zones superficielles de l'organisme, j'ai vu succéder à une zone de texture extrêmement ténue et à petits tubes tortueux (texture caractéristique des liserés blancs), une zone à tubes plus gros, différente par certains caractères de celle décrite plus haut: les tubes, à allure plus régulière, y courent parallèlement à la surface, et comme ils sont faiblement ondulés, la lame peut les intéresser sur une certaine longueur (Pl. III, fig. 6 et 9). Quelques tronçons de tubes cheminant d'une zone à l'autre, on est conduit à admettre, sans pouvoir les préciser, des relations entre les deux squelettes : par élargissement, par régularisation de leur course, les petits tubes tortueux pourraient être l'origine des tubes, plus gros et faiblement ondulés, qui courent parallèlement à la surface extérieure de la lame organique.

Tantôt plus ou moins nets, tantôt se laissant seulement soupçonner par l'allure que prend le calcaire granuleux, ces tubes sont de calibre variable et se présentent soit sous la forme de gros boudins, soit sous

la forme de tubes, à lumière réduite, et à parois distendues de loin en loin par des hernies très accusées dans lesquelles figurent des corps en forme de médusoïdes et que je qualifierai du nom d'ampoules pour ne pas préjuger de leur signification biologique (cf. Pl. III, fig 6, 7 et 9).

Ces ampoules, fixées à l'intérieur du tube et à sa paroi interne et profonde, prennent naissance sous l'aspect d'un croissant qui s'enfle, se bombe vers l'extérieur, et, selon toute vraisemblance, est finalement expulsé. J'ai en effet retrouvé, dans la gangue qui entoure l'organisme Henriette, de ces petites balles à l'état libre. Ce sont de petits corps hémisphériques, très bombés, limités par une mince zone de calcaire granuleux. Une ligne régulière en arc divise généralement l'ampoule en deux parties inégales ; contre elle viennent buter les prismes de calcite qui remplissent la cavité de l'ampoule. Certaines sections d'ampoules ne présentent pas cette ligne arquée mais une série de petites taches sombres irrégulièrement distribuées ; de plus on n'y observe pas l'allure fibreuse de la calcite mais, de-ci de-là, de petits losanges qui ne sont pas autre chose que la section transversale des petits prismes allongés auxquels j'ai fait allusion plus haut. Ces sections seraient des coupes transversales de l'ampoule, les premières seraient vues de profil.

2. — En un autre point de la surface, j'ai observé une multiplication et un tassement des tubes; ils formaient un véritable lacis très serré, englobant et paraissant protéger *un corps sphérique de grande taille* (cf. Pl. IV, fig. 13 et 14).

A parcours très irrégulier et très tourmenté au contact avec le corps globuleux, ces tubes se régularisent au voisinage de la surface ; ils y sont ondulés et entrelacés, mais on peut les suivre sur une certaine longueur. Dans quelques cas, la lumière du tube est très visible et se distingue nettement des parois granuleuses — le plus souvent toutefois, par suite du tassement des tubes, ces deux parois sont confondues et l'on n'a plus qu'une ligne ondulée noire de carbonate de calcium granuleux.

Le corps sphérique dont il a été fait mention ci-dessus comprend dans sa structure deux portions distinctes : un noyau central volumineux limité vers l'extérieur par une zone corticale épaisse. Cette zone corticale est formée par la juxtaposition de pelures concentriques ; elle est de structure lamelleuse, chaque lamelle calcaire étant constituée par des individus de calcite d'orientations diverses, normaux à sa surface ou obliques sur elle. La partie centrale, brunâtre, est remplie de calcite secondaire à disposition sphérolithique.

III. — INTERPRETATION BIOLOGIQUE.

L'organisme Henriette est une algue calcaire du groupe des *Siphonées* qui, de son vivant, devait incruster ses parois de carbonate de calcium. Le processus même de la calcification devait, à un moment donné, amener la mort des portions les plus anciennes de l'organisme ; sur ces parties basales incrustées, mortes et servant de support, se développaient de nouveaux thalles. Sans cette incrustation simultanée et progressive, impossible de s'expliquer que l'organisme nous ait conservé sa morphologie et sa structure d'ensemble. Quant aux gros tubes si souvent périmés, cette destruction est un phénomène postérieur à l'ensevelissement de l'organisme par la boue marine et donc secondaire.

Un problème se pose naturellement à l'esprit : faut-il voir dans cet ensemble un organisme dont l'évolution nous rendrait compte d'une certaine manière des conditions plus ou moins favorables du milieu dans lequel il aurait vécu — ou de deux manières d'être d'un organisme présentant une allure différente pendant les périodes de reproduction (phase des ampoules) — ou deux organismes, l'hôte et le parasite, vivant parallèlement, le second aux dépens du premier dont il aurait périmé la structure?

La périodicité même avec laquelle alternent les deux textures, liseré blanc à petites vermiculures, représentant des sections de petits tubes très contournés et pelotonnés sur eux-mêmes et formant un tissu très compact — parties brunes à tubes de plus gros diamètre, plus ou moins ondulés, et à structure plus ou moins périmée en raison même du peu de compacité du tissu — m'incite à voir dans ces deux tissus et ces deux textures deux phases de la vie du même organisme : *une phase de vie végétative* (tubes fins et réguliers) et *une phase caractérisée par les phénomènes de reproduction* (dilatation des tubes en boyaux variqueux, formation des ampoules).

Il pourra paraître téméraire de chercher à interpréter le rôle et la signification des ampoules. Cette tentative, déjà très délicate sur du matériel frais et vivant, est deux fois malaisée lorsqu'il s'agit de végétaux fossiles. Aussi, sans poser une affirmation absolue, sans vouloir y mettre une précision que les conditions d'observation ne légitimeraient pas, me contenterai-je d'insinuer qu'en les comparant au corps sphérique qui, de toute évidence, appartient au même organisme, je ferais volontiers de ces ampoules des gamètes ou des spores. On sait en effet que les algues présentent assez généralement deux modes de reproduction, une reproduction asexuée et par spores — et une reproduction

sexuée par isogamie ou hétérogamie qui se fait par gamètes mâles et femelles dont la fusion donne naissance à une cellule-œuf qui serait, dans le cas présent, le corps sphérique relativement volumineux que j'ai décrit (cf. Pl. IV, fig. 13, 14).

Ces ampoules sont-elles de simples spores qui, détachées de l'organisme, attendront des conditions favorables pour germer? Faut-il y voir des gamètes qui, par leur fusion, donneront naissance au corps sphérique que j'ai figuré à la planche IV? J'incline vers la seconde hypothèse sans cependant pouvoir me prononcer avec certitude.

IV. — CLASSIFICATION.

ROTHPLETZ dans une publication intitulée « Ueber Algen und Hydrozoen im Silur von Gothland und Oesel » (1908) donne, dans ses planches I et II, des reproductions photographiques qui suggèrent, je dirai presque qui imposent, le rapprochement de l'espèce que je viens de décrire du genre *Sphaerocodium*. Les figures 5 de la planche I, et 4 de la planche II de la publication de ROTHPLETZ sont particulièrement frappantes. Dans la première figure (que j'ai reproduite Pl. IV, fig. 11), l'auteur donne une vue d'ensemble, grossie onze fois, du tissu de l'algue qui comporte des tubes fins invisibles à ce grossissement et de plus gros, nettement visibles, entortillés et ramifiés. De ces derniers il donne (fig. 4 de la planche II) une section radiale grossie 43 fois et qui met bien en évidence leur disposition concentrique (cf. Pl. IV, fig 15). L'auteur signale en outre la zonation d'ensemble de l'organisme qui résulte de l'orientation tangentielle des gros tubes — et il insiste sur la dépendance qui existe entre ces gros tubes et les tubes plus fins.

Le genre *Sphaerocodium* fut créé en 1889 par ROTHPLETZ [62] pour une algue fossile des Couches de St. Cassian (Trias supérieur) qu'il nomma *Sphaerocodium Bornemanni*. Cette algue « qui, fréquemment et presqu'à elle seule, construit de puissants bancs calcaires » [63], est une forme encroûtante à structure concentrique. L'auteur y signalait la présence de tubes de deux sortes, les uns fins, unicellulaires, dichotomes et d'aspect filiforme, les autres en forme de boyaux, ces derniers portant localement des expansions latérales claviformes, dont l'auteur tendait à faire des sporanges. Il faisait de cet organisme une siphonée qu'il rapprochait des G. *Codium* et *Udotea* malgré la calcification de ses parois et son mode de croissance.

62. ROTHPLETZ A. — Ueber *Sphaerocodium Bornemanni*, eine neue fossile Kalkalge aus den Raibler Schichten der Ostalpen. *Botan. Centralblatt*, 1890, Bd. XLI.

63. « welche starke Kalkbänke oft fast ausschliesslich zusammensetzt » cf. ROTHPLETZ A. — loc. cit., p. 9.

Dans une publication ultérieure (1891), ROTHPLETZ [64], entre autres organismes, reprit l'étude du *Sphaerocodium Bornemanni*. Cet organisme encroûtant donne naissance à des nodules dont on avait fait des oolithes et au sujet desquels BORNEMANN le premier, en 1886, avait émis l'hypothèse d'algues. Voici la description qu'en donne ROTHPLETZ :

« Le thalle résulte de l'enchevêtrement intime de filaments unicellulaires de largeur microscopique et qui se divisent par dichotomie. De temps en temps, les branches qui résultent de la dichotomie se distendent et prennent l'aspect de boudins ou de boyaux qui marquent la fin de l'évolution de ces branches. Les boyaux se forment dans le tissu fin constitué par les filaments unicellulaires ; ils prennent, du fait de leur formation périodique, une allure zonaire et communiquent à l'algue une structure écailleuse » [65].

L'auteur distingue donc nettement deux sortes d'éléments : les filaments cellulaires ou «Zellfäden », visibles seulement en lames minces sous forme de « filaments longs et lâches sectionnés en tout petits fragments » [66] — et les « Zellschläuche » ou cellules en boyaux « dont les relations avec les premiers ne font aucun doute » [67] et qu'il compare au tissu en palissade du *Codium adhaerens* actuel. Il précise un peu plus loin (p. 299) que ces boyaux ont une répartition régulière et concentrique, leur grand axe étant parallèle à la surface du nodule. Enfin, si les cellules rondes décrites par ROTHPLETZ correspondent aux ampoules que j'ai observées, il est facile de comprendre combien l'interprétation qu'il en a donnée (sporanges) est infirmée du fait que ces ampoules se retrouvent à l'état libre et en état de parfaite conservation dans la gangue calcaire qui entoure l'organisme.

Deux publications plus récentes du même auteur signalent deux espèces nouvelles : *Sphaerocodium gothlandicum* du Silurien de Gothland (1908) et *Sphaerocodium Zimmermanni* (1911) du Dévonien supé-

64. ROTHPLETZ A. — Fossile Kalkalgen aus den Familien der Codiaceen und der Corallineen. — *Zeitschr. d. D. Geol. Gesell.*, 1891, XLIII, pp. 295 à 322, pl. XV, XVI, XVII.

65. « Der Thallus besteht aus dem innigen Geflechte einzelliger wiederholt dichotom sich teilender Fäden von mikroskopisch geringer Breite. Von Zeit zu Zeit wachsen einzelne dieser Fädenzweige zu schlauchartigen Erweiterungen aus, mit welchen das Wachstum dieser Zweige sein Ende erreicht. Diese Schläuche sind innerhalb des feinen Fadengewebes, entsprechend ihrer periodischen Entstehung, zonal angeordnet und verleihen dem ganzen Algenkörper seine schalige Structur » (cf. ROTHPLETZ A. — loc. cit., p. 296).

66. « langen und losen Fäden wie kurz und klein geschnitten » (cf. ROTHPLETZ A. — loc. cit., p. 297).

67. « deren Zusammenhang mit den dünnen Zellfäden unzweifelhaft ist » (cf. ROTHPLETZ A. — loc. cit., p. 297).

rieur de Liebichau en Silésie. A vrai dire, ces deux notes n'apportent, touchant l'anatomie du G. *Sphaerocodium*, aucun détail vraiment neuf et que nous ne connaissions déjà.

Dans la première (1908), ROTHPLETZ esquisse une comparaison de l'espèce silurienne qu'il présente, avec l'espèce triasique autrefois décrite par lui. Les nodules auxquels ces organismes donnent naissance diffèrent peu : ils mesurent 3,5 cm. et sont rugueux dans l'espèce silurienne, ils sont lisses et ne dépassent pas 2 cm. de diamètre dans l'espèce triasique ; toutes deux ont même tissu fondamental et les tubes qui les constituent ont mêmes dimensions. Il n'en est pas de même des gros tubes et l'auteur attribue une valeur spécifique à ce fait que *Sph. Bornemanni* présente des « Schlauchzellen » tandis que *Sph. gothlandicum* n'en présente pas ; chez cette dernière espèce, les Schlauchzellen seraient remplacées par des breitere Zellfäden, distinction qui me paraît bien un peu artificielle.

Autre différence : dans l'espèce triasique il y a mélange du tissu fondamental et des Schlauchzellen, tandis que chez *Sph. gothlandicum* il y a, en règle générale, séparation complète des deux tissus équivalents. J'avoue que les figures 2 et 4 de la planche I ne m'ont pas convaincu de ce dernier détail. Tout séparés que soient ces deux tissus chez *Sph. gothlandicum*, ils ne sont pas pour autant complètement indépendants l'un de l'autre : « à la limite des deux zones (caractérisées par ces deux tissus différents), il n'est pas rare de voir les fins filaments cellulaires se tuméfier et prendre l'aspect de tubes de plus gros calibre ; on peut ainsi constater que les gros tubes dérivent des minces filaments. Par contre, à la limite supérieure de la zone des gros tubes, je n'ai jamais pu saisir le passage des gros tubes aux fins filaments » [68].

L'espèce décrite en 1911 [69] sous le nom de *Sphaerocodium Zimmermanni* présente les mêmes caractères essentiels, à savoir deux tissus disposés en alternance. Le tissu fondamental (Grundgewebe) est formé de filaments cellulaires (Zellfäden) de 10 à 25 μ de diamètre ; ces Zellfäden s'élargissent pour donner des Endzellen (40 μ) dont l'ensemble constitue l'Endgewebe. Ces Endzellen se disposent en zones concentriques et se

68. « an der Grenze solcher zweierlei Zonen sehr häufig gesehen werden kann, wie ein feiner Faden zu einem gröbern anschwillt und somit die letzteren aus ersteren hervorgehen. Dahingegen ist es mir nie gelungen, auf der Oberseite von Zonen gröberen Gewebes einen Uebergang der breiteren in schmälere Fäden festzustellen » (cf. ROTHPLETZ A. — Ueber Algen und Hydrozoen im Silur von Gothland und Oesel. *Kungl. Svenska Vetenskaps Akademiens Handlingar.*, 1908, Bd. XLIII, N° 5, p. 8).

69. ROTHPLETZ A. — Ueber *Sphaerocodium Zimmermanni* n. sp., eine Kalkalge aus dem Oberdevon Schlesiens. *Jahrb. d. k. preuss. geol. Landesanstalt*, 1911, Bd. XXXII, t. II, hft. I.

divisent latéralement ; ces divisions courtes et rapprochées donnent en coupe tangentielle des formations en éventail. Mais *Sph. Zimmermanni* diffère des autres par la taille des éléments (Zellfäden et Endzellen) et par ce fait que le tissu fondamental comporte deux sortes de tubes, les Zellfäden et d'autres plus petits (6 à 8 μ).

V. — CONCLUSION.

Il me semble que l'organisme du marbre Henriette doive être rapporté à la famille des *Codiacées* et qu'il soit voisin du G. *Pseudocodium* actuel dont le thalle présente une différenciation en un tissu intérieur à tubes filamenteux étroitement entrelacés, et en un tissu extérieur à tubes droits et distendus.

Je le rapprocherai des organismes décrits par ROTHPLETZ sous le nom générique de *Sphaerocodium :* leur parenté ressort, me paraît-il, de leur allure d'ensemble, de la description détaillée que j'ai donnée de leur texture et de l'étude que j'ai faite, au paragraphe IV (Classification), des espèces nommées et définies par ROTHPLETZ.

Considérant toutefois que le terme choisi par ROTHPLETZ pour nommer des formes encroûtantes et qui évoluent en nodules ne convient guère aux formes que j'ai décrites et figurées, voulant par ailleurs mettre en relief l'extrême variété des formes que prend en section transversale (cf. P. 44, fig. 6 et P. 45, fig. 8) l'organisme du marbre Henriette, je le différencierai sous le nom de *Polymorphocodium Lapparenti* du nom de mon cher Maître, M. JACQUES DE LAPPARENT, auquel je dédie de ce fait les prémices de ce travail.

Genre *Polymorphocodium* nov.

Polymorphocodium Lapparenti nov. sp.

Organisme encroûtant, étalé sur le fond marin mais susceptible de prendre un grand développement vertical. Le thalle est tout entier constitué par des tubes, les uns très fins et très enlacés, les autres de plus fort diamètre et de course moins irrégulière ; les uns et les autres sont beaucoup moins réguliers d'allure que ceux décrits par ROTHPLETZ. Ces deux tissus alternent plus ou moins régulièrement, d'où la zonation caractéristique de l'ensemble du thalle.

En certains points de l'organisme, voisins de la surface, les tubes cellulaires prennent un aspect variqueux provoqué par la formation et le développement d'organes de reproduction en forme d'ampoules hémisphériques.

CHAPITRE IV.

LE MARBRE NAPOLÉON TIGRÉ DIT «PATTES D'ALOUETTES».

Le marbre Napoléon et ses variétés.

Ce vocable, à tout le moins énigmatique, est intimement lié à un évènement de notre histoire nationale, l'érection, sur l'emplacement du Camp de Boulogne, de la Colonne Napoléon. On choisit, pour édifier ce monument, un calcaire massif à larges éléments anguleux (« Grande Brèche ») qui prit le nom de marbre Napoléon ; par des extensions successives, ce nom passa à la carrière dont on extrayait la pierre (carrière ouverte en l'an 1803 et aujourd'hui remblayée) et, de la carrière, aux strates calcaires qui s'y trouvaient intéressées. C'est ainsi qu'on distingue aujourd'hui trois variétés de marbre Napoléon : le Napoléon Grand Mélange, le Napoléon Tigré dit « Pattes d'Alouettes » et le Napoléon Gris.

Le « Napoléon Grand Mélange » se termine à sa partie supérieure par un petit épisode rubané auquel succèdent deux formations presque entièrement organiques séparées l'une de l'autre par une série rubanée d'une épaisseur de 2 m. 50. Ces deux formations organiques peuvent se traiter ensemble car elles sont identiques dans leur allure générale comme dans le détail : l'inférieure, connue sous le nom de *Napoléon Tigré* dit « *Pattes d'Alouettes* » a une épaisseur qui varie entre 80 cm et 1 m. 20, la supérieure (*Napoléon Gris*) a une puissance de 1 m. 30 à 1 m. 50 et est de teinte plus claire (cf. Tableau p. 38).

Le « Napoléon Tigré » de formation massive semble formé sur toute son étendue par des organismes en buisson, entrecoupés de lignes plus ou

moins épaisses d'un calcaire gris blanc d'aspect compact ou subcompact. Son dessin d'ensemble rappelle assez bien des empreintes de pattes d'oiseaux, d'où le nom de « Pattes d'Alouettes » sous lequel il est surtout connu (cf. Pl. V, fig. 17). Ailleurs, d'autres organismes qui paraissent, sinon identiques, du moins très voisins, se sont développés en forme de lames horizontales, allongées, et plus ou moins ondulées ; ces lames affectent sur front de carrière une allure arborescente, plus fine chez les uns, plus grossière chez les autres. La formation se termine, à sa partie supérieure, par un rubané d'une puissance maxima de 12 cm. d'épaisseur très variable suivant les places (4 cm) et d'allure plus ou moins régulière. Ce rubané est localement interrompu par des efflorescences [70] analogues à celles de la partie supérieure du Napoléon Grand Mélange, mais qui sont ici, du moins en apparence, moins découpées et plus massives.

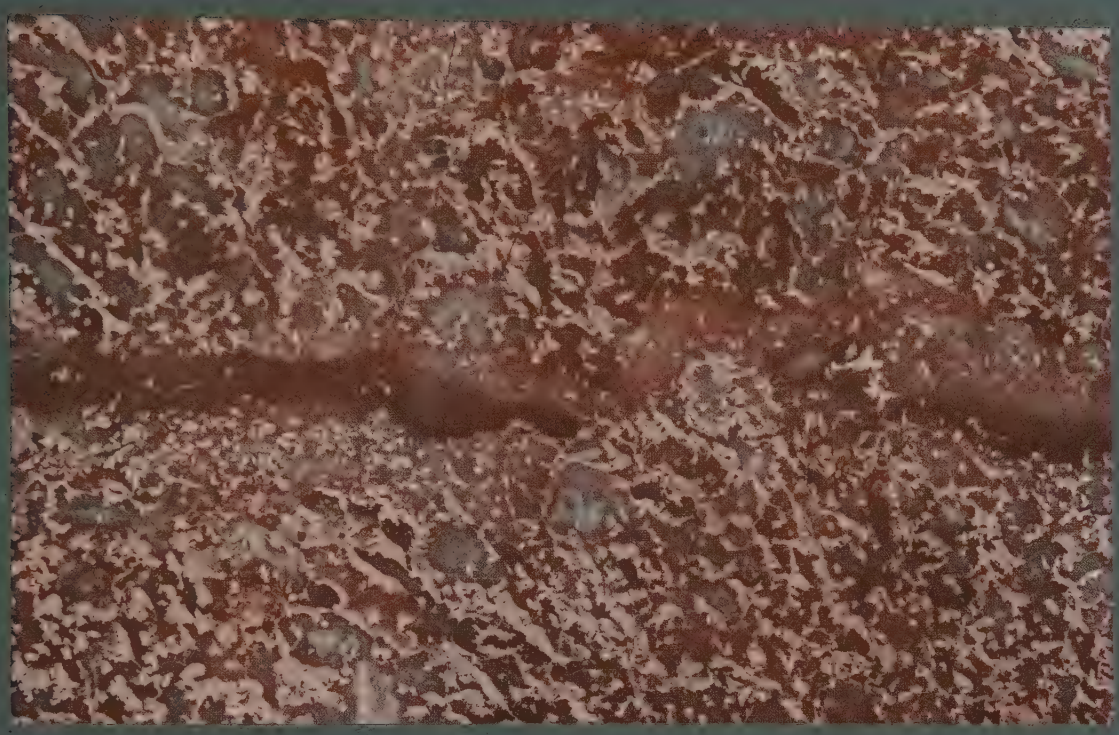
La formation dont je viens de décrire sommairement le développement en verticale représentait donc, avant de se consolider, une prairie sous-marine. Son aspect peut varier beaucoup latéralement suivant l'état de développement des organismes : les formes en buisson peuvent atteindre de grandes tailles (j'en ai mesuré une qui avait 50 cm d'envergure verticale et 2 m. de développement horizontal — une autre mesurait 1 m. 20 de hauteur sur 1 m. 60 de largeur). Les formes laminaires sont peu épaisses (de 9 à 15 cm.) mais, comme elles sont souvent empilées les unes sur les autres, elles peuvent présenter néanmoins un grand développement vertical. En longueur, elles mesurent sur front de carrière 0 m. 45, 0 m. 80, 1 m. 60, 2 mètres et peut-être même davantage. En d'autres points du banc, les organismes moins nombreux ou moins développés laisseront plus de place à la vase calcaire qui formera de vastes plages blanchâtres bourrées, suivant les places, de coquilles ou de grumeaux, ces derniers provenant vraisemblablement de l'organisme lui-même.

I. — L'ORGANISME ; SA MORPHOLOGIE.

De l'allure que prend cet organisme en coupe verticale et sur lit de carrière, il est aisé de déduire sa forme générale : c'est celle de *buissons* étalés sur le fond marin et se dressant verticalement.

Ces buissons seraient, à l'origine, réduits à une tige verticale sur laquelle prendraient naissance par voie de bourgeonnement des diverticules latéraux. Ces diverticules se développent en direction horizon-

70. Voir la description des « gra'mères » au Ch. VII de la I^re^ Partie (pp. 102 sq.).



MARBRE «NAPOLÉON TIGRÉ»
DIT «PATTES D'ALOUETTES»
(de la Carrière des Marbres du Boulonnais, Hydrequent)

tale ; ils s'étalent et s'allongent en forme de lames épaisses. Ces *lames*, à contours sinueux, sont d'abord indépendantes ; mais elles émettent, au cours de leur évolution, de nombreux *bourgeons*, susceptibles, au contact d'autres bourgeons ou de portions d'autres lames, de se fusionner. Il en résulte la formation d'un certain nombre d'alvéoles et l'ensemble prend un aspect réticulaire (cf. Pl. V, fig. 17). Somme toute, organisme à *thalle*, simple à l'origine, mais devenant de plus en plus dense du fait du bourgeonnement.

C'est au bourgeonnement qu'est due l'allure caverneuse de l'organisme. Dans les vides laissés entre les lames, de la calcite a cristallisé sous un double aspect. Au contact de la paroi organique, la cristallisation s'est effectuée sous forme de prismes allongés et normaux à la surface (cf. Pl. V, fig. 18 ; Pl. VI, fig. 21 ; Pl. VII, fig. 25). Dans les cavités de petite envergure, ces prismes en se développant, sont venus en contact et ont rempli le tout. Dans les cavernes plus spacieuses, outre cette calcite prismatique colorée en brun par les matières organiques, j'ai observé une calcite hyaline en mosaïque, qui a comblé secondairement les portions de cavités laissées libres après le dépôt de la couche prismatique superficielle (cf. Pl. VII, fig. 25).

II. — ANATOMIE.

A. Ensemble.

Dans ses portions jeunes, la lame organique montre une structure nettement *membraneuse*, qui se trahit en section par des lignes noires de calcaire granuleux (cf. Pl. VI, fig. 21 les portions du thalle peu évoluées et fig. 22). Ces lignes sont pour l'ordinaire ondulées et sinueuses ; elles sont épaisses et occupent toute l'épaisseur du thalle, les plus superficielles faisant hernie vers l'extérieur au niveau des bourgeons.

Dans certaines portions plus évoluées du thalle, des lignes noires analogues, parfois superposées en nombre, font le tour du thalle et le limitent vers l'extérieur (Pl. VII, fig. 25) ; sa partie profonde est constituée par du calcaire granuleux. De cette *zone marginale* dérivent plus ou moins nettement, de place en place, des lignes granuleuses qui s'accouplent en faisceaux, pénètrent dans l'épaisseur du thalle et lui communiquent une vague allure fibreuse. Sur le calcaire granuleux qui fait le fond du thalle se détachent de nombreuses *vacuoles* remplies de calcite hyaline en mosaïque. En certains points enfin, le thalle montre de curieux phénomènes de floculation sur lesquels j'aurai à revenir.

B. Détail.

1. — Formation des bourgeons.

Le bourgeon se forme par évagination de la portion superficielle de la lame organique : l'enveloppe la plus extérieure esquisse un pli qui fait hernie vers l'extérieur et s'allonge. Les membranes sous-jacentes ébauchent un mouvement analogue (cf. Pl. VI, fig. 20 et 22).

Dans certains cas, tout s'arrête là : la hernie s'allonge et arrive au contact de la paroi organique opposée ; ses deux lèvres se rapprochent et forment un simple *tractus* de liaison (Pl. VI, fig. 23).

Dans la généralité des cas, les bourgeons évoluent davantage mais toujours très inégalement; certaines portions restent rudimentaires et prennent l'aspect de simples pédoncules ; d'autres portions au contraire prolifèrent beaucoup et donnent naissance à une lame qui, à son tour, bourgeonnera... (cf. Pl. V, fig. 18 et VI, fig. 21).

De là l'allure irrégulière et tourmentée de l'organisme, accrue encore du fait que le bourgeonnement peut se produire dans différentes directions.

2. — Formation des vacuoles.

a. — Description des vacuoles.

Le thalle évolué est chargé de nombreuses cavités ou vacuoles, remplies de calcite hyaline largement cristallisée (cf. Pl. V, fig. 18 ; Pl. VI, fig. 20 ; Pl. VII, fig. 27 et 28).

Ces vacuoles, disséminées sans ordre apparent, débutent sous la forme de petits points (cf. Pl. VI, fig. 20 et 21 ; Pl. VII, fig. 25 et 27) qui, peu à peu, se distendent ; quand elles sont nombreuses et rapprochées, elles finissent par venir en contact. Deux cas peuvent alors se présenter : — ou bien, elles restent indépendantes et donnent naissance à un petit amas de cloches dont les parois en contact se déforment légèrement en s'épousant les unes les autres (cf. Pl. VI, fig. 20) ; — ou bien, par éclatement des parois respectives trop distendues, il en résulte une grande cavité à contour irrégulier, elle aussi creuse et remplie ultérieurement de calcite hyaline en mosaïque (cf. Pl. VII, fig. 27 et 28).

Un liseré granuleux plus foncé et plus dense individualise souvent la vacuole et la sépare du calcaire granuleux fondamental. Il semble dû, pour partie, au tassement de la substance organique fondamentale au fur et à mesure de l'accroissement de la vacuole — pour partie, peut-être aussi, à de la matière organique rejetée contre la paroi interne de la vacuole, au moment de la formation de la calcite de remplissage.

b. — Origine des vacuoles.

Comment prennent naissance ces vacuoles?

1re hypothèse: Se forment-elles aux dépens des membranes par dila-

mination dans le sens de l'épaisseur? Proviendraient-elles d'une hernie, de l'évagination d'une membrane dont les deux lèvres se seraient ensuite rejointes et soudées, isolant ainsi une sphère creuse? Aucune de ces deux hypothèses ne me paraît soutenable, encore que, de ci de là, un fait d'observation semble l'étayer. Nombre de ces ampoules, les unes jeunes encore, d'autres plus évoluées, ne montrent aucun rapport avec les formations membraneuses ; celles qui en montrent le font avec si peu de netteté qu'il est difficile d'en tenir compte.

2e hypothèse : Un fait d'observation suggère l'hypothèse que les ampoules pourraient s'être formées dans un tube qu'elles auraient tuméfié au fur et à mesure de leur croissance. Ce même fait pourrait être invoqué pour établir l'existence d'un vaste système canaliculaire faisant communiquer les unes avec les autres les ampoules disséminées dans le thalle, ces ampoules n'étant alors que des tuméfactions locales de canaux tubulaires.

Cette explication est alléchante ; elle est renforcée par l'ébauche de renflements aux pôles de l'ampoule et par la présence de petits tronçons de tubes qui paraissent en rapport immédiat avec ces renflements. Quoiqu'il en soit de ces derniers arguments, ils n'imposent pas la certitude ; et la probabilité reste en faveur de vacuoles pures et simples, le cas auquel j'ai fait allusion ci-dessus n'étant pas seulement un cas rare mais *le seul cas* rencontré dans un matériel par ailleurs abondant.

3e hypothèse: Personnellement, après l'étude du marbre poli d'une part et observation en lame mince d'autre part, j'inclinerais à admettre que les ampoules se forment par vacuolisation de la substance fondamentale du thalle, cette vacuolisation pouvant du reste se produire en un point quelconque de la surface organique. Ces ampoules se formeraient ici comme se forment, dans les cellules végétales, les vacuoles. Je ne crois pas à l'existence d'un système canaliculaire faisant communiquer entre elles les ampoules disséminées dans tout l'organisme. Je n'ai observé en effet de communications nettes entre ampoules que celles qui se produisent lorsqu'elles viennent en contact les unes avec les autres par suite de leur rapprochement ou de leur multiplicité et de leur croissance. Je dois dire toutefois que l'examen de certaines ampoules en surface polie m'a permis d'observer au fond de ces organes une tache obscure qui s'expliquerait suffisamment et d'une manière plus normale par une communication de cette ampoule avec une autre ampoule voisine, sans qu'il soit nécessaire de faire appel à un système canaliculaire.

c. — Interprétation du rôle joué par les vacuoles.

Longtemps, j'ai cru devoir interpréter ces vacuoles sphériques comme des poches à air, des flotteurs, destinés à maintenir l'organisme

en équilibre vertical dans le milieu marin; mais il faut avouer que la présence de pareils organes n'a guère de raison d'être dans des organismes qui s'incrustent de calcaire.

Faut-il les considérer comme faisant partie d'un système canaliculaire complexe — ou les envisager, suivant leur nombre et leur taille, comme marquant l'état de vacuolisation plus ou moins avancée de l'organisme? Contre la première de ces deux interprétations militent un certain nombre de faits, par ex.: la rareté des sections longitudinales de tubes, — l'absence complète de vacuoles dans des portions étendues de thalle, — enfin, la disparition de la texture du thalle semblant aller de pair avec la multiplication des vacuoles (cf. Pl. VII, fig. 28). Or, cette figure 28 montre précisément la tendance qu'ont les ampoules à crever les unes dans les autres, ce qui expliquerait les taches plus foncées qui s'observent au fond de certaines d'entre elles, ces taches représentant pour moi les orifices de communication d'une vacuole avec les vacuoles qui lui sont contiguës.

3. — Formation des bâtonnets.

a. — Description.

En certaines places, le thalle montre de curieux et importants phénomènes de floculation : sa substance, qui, pour l'ordinaire, est en lame mince assez homogène et finement granuleuse semble en certains points s'opacifier et s'épaissir, ne laissant plus voir qu'une texture extrêmement confuse dans laquelle on distingue encore toutefois les lignes noires (sections de membranes) qui constituent en partie le tissu propre de notre organisme (cf. Pl. VII, fig. 25). Puis, par un phénomène probable de condensation localisée, le tissu reprend une certaine transparence et présente un aspect général réticulé, d'un noir très accentué, que fait encore ressortir la teinte blanche de la calcite interstitielle. Ce réseau qui, à mon avis, n'était qu'apparent et produit par le tassement, disparaît pour faire place à une accumulation de menus articles que l'on retrouve souvent à l'état libre en dehors de l'organisme (cf. Pl. VII, fig. 26 et 27; et Pl. VI, fig. 24).

Les petits articles dont je viens de parler sont formés de granules calcaires extrêmement petits; ils sont nettement calibrés et se présentent sous la forme de petits bâtonnets, noirs, opaques, laissant voir en leur milieu une ligne grise longitudinale difficilement perceptible. Il ne semble pas qu'il s'agisse là d'un canal longitudinal ; tout canal quelque réduit en diamètre qu'il puisse être n'échapperait pas à l'observation en section transversale. Il s'agit, et la section transversale du bâtonnet le montre bien, d'une double gouttière qui court longitudinalement sur deux de ses faces et qui, en diminuant localement l'épaisseur de l'article,

se traduirait par une ligne plus claire. Il semble que les bâtonnets aient tendance à se diviser le long de cette ligne de moindre résistance et aussi dans le sens de la largeur comme si, en définitive, ces bâtonnets étaient formés d'une double série de petits articulets empilés les uns sur les autres.

Ces bâtonnets se forment au voisinage de la surface ; ils se retrouvent, après libération, dans les vides développés entre les différentes lames (cf. Pl. V, fig. 18 ; Pl. VI, fig. 24 ; Pl. VII, fig. 26 et 27).

b. — Origine des bâtonnets et interprétation.

En comparant les figures des planches V, VI et VII, il semble qu'il faut expliquer l'origine et la formation des bâtonnets aux dépens de l'organisme lui-même, aux dépens à la fois de son tissu fondamental et de ses enveloppes. Les arguments que j'apporterai comme preuve sont les suivants :

— le fait de l'épaississement très prononcé des enveloppes dans les portions du thalle où se produit cette floculation (cf. Pl. VI, fig. 24 et Pl. VII, fig. 25) ;

— la disparition des enveloppes dans les zones où se forment les bâtonnets (cf. Pl. VII, fig. 25) ;

— l'aspect écailleux que présentent certaines parois au voisinage des grumeaux (cf. Pl. V, fig. 18 ; et Pl. VII, fig. 26) ;

— la disparition du fond granuleux et son remplacement par de la calcite hyaline plus largement cristallisée (cf. Pl. VI, fig. 24 ; et Pl. VII, fig. 26 et 27).

Fournis par l'organisme lui-même, ces bâtonnets seraient-ils le résultat d'une désagrégation proprement dite du thalle ou représenteraient-ils au contraire des éléments de reproduction? Sans pouvoir prouver d'une manière positive la seconde hypothèse, il me paraît que la première explication n'est guère soutenable. Il suffit en effet de comparer les figures auxquelles je viens de référer avec la figure 28 de la planche VII pour se convaincre que, si les parties qui se résolvent en bâtonnets et en grumeaux voient leur structure détruite, ce qui est normal puisque c'est aux dépens du thalle que les grumeaux ont été produits, il n'en est rien dans la fig. 28 de la planche VII. Là, pas de grumeaux et absence de toute structure ; le thalle est réduit à une plage de calcaire granuleux en même temps que les ampoules se sont considérablement augmentées en nombre et ont crevé les unes au contact des autres. De plus, les bâtonnets se montrent ordinairement en surface de portions du thalle qui gardent, au moins en partie, leurs caractères structuraux. Enfin, on ne comprend pas bien pour quelles raisons un organisme qui se désagrègerait donnerait naissance à des articles aussi réguliers et si nettement structurés.

Reste à admettre comme plus vraisemblable au moins la seconde hypothèse [71]. Je n'en vois personnellement pas d'autre que celle d'un phénomène de reproduction, que cette reproduction se fasse par voie sexuée, par voie de sporulation ou de multiplication végétative, ces deux dernières ayant du reste une signification biologique analogue et ne différant que par les caractères anatomiques de l'élément qui doit perpétuer l'espèce. La reproduction à laquelle je viens de faire allusion se ferait donc par multiplication végétative ou bouturage par la même voie et les mêmes processus que les sporulations.

III. — PLACE DE L'ORGANISME DANS LA CLASSIFICATION.

Le problème de la classification est assez malaisé à résoudre. Encore qu'il n'y ait que deux groupes de la classification actuelle (Spongiaires et Algues) auxquels l'organisme « Pattes d'Alouettes » puisse être plus ou moins vraisemblablement rapporté, je ne vois aucun type actuellement connu qui de près ou de loin se rapproche de lui. Des maîtres particulièrement compétents auxquels j'ai exposé mes vues m'ont laissé peu d'espoir quant à l'issue de mes recherches concernant l'un ou l'autre groupe.

J'essaierai néanmoins d'exposer, en manière de synthèse, comment je comprends l'organisme que je viens de décrire et je proposerai la place à lui assigner provisoirement dans la classification du jour.

A. — Les principales caractéristiques organiques.

1. — Ce qui frappe au premier coup d'œil l'observateur c'est l'apparente carence de toute structure cellulaire. L'organisme serait sans doute à base d'albuminoïdes comme tous les organismes animaux et végétaux; mais ici, le cytoplasme et le noyau, au lieu d'être individualisés sous forme d'unités anatomiques élémentaires (cellules, tubes) seraient diffus sous la forme d'une gelée homogène dans toute l'étendue du thalle mais localement plus dense, en particulier à la périphérie.

71. J'ai longtemps envisagé une troisième hypothèse suivant laquelle ces bâtonnets seraient des coprolithes d'animaux (Vers, petits Céphalopodes...) ayant vécu dans les cavernes de l'organisme « Pattes d'Alouettes » et à ses dépens ; en certains points en effet le thalle semble avoir été rongé. Mais, comment expliquer dans cette hypothèse, d'une part la structure des bâtonnets, d'autre part l'absence constante de tout organisme dans les nombreuses plages à bâtonnets que j'ai pu observer.

De là les membranes et enveloppes dont la section en lame mince prend l'aspect de lignes granuleuses noires.

Cette texture du type syncytial est connue chez les Thallophytes (Siphonées et certains groupes de Champignons). Il ne me paraît pas forcé de la rapprocher de la mésoglée des Eponges ; mais, dans ce cas, à moins d'imaginer qu'il s'agisse d'un Myxosponge, le calcaire granuleux fondamental devrait livrer des sections longitudinales et transversales de spicules fibreux ou calcaires.

2. — L'existence d'un système canaliculaire à canaux fins distendus en forme d'ampoules de distance en distance (corbeilles) militerait en faveur des Eponges.

Mais l'ensemble des faits d'observation qui se reproduisent avec une certaine fréquence semble favoriser davantage l'hypothèse d'une vacuolisation, les vacuoles représentant chez les végétaux un des modes d'expulsion des déchets organiques.

3. — L'absence de toute structure dans les bâtonnets et la carence de tout autre mode de reproduction que la multiplication végétative me paraissent indiquer un végétal de la classe des Thallophytes et d'un type d'organisation primitif.

Me basant sur tout un ensemble de caractères positifs et négatifs, je rapporterai l'organisme « Pattes d'Alouettes » au groupe des Algues et j'en ferai provisoirement un type des « *Myxophycées* » sous le nom de *Corydopodium Pruvosti* [72].

Il me plaît d'exprimer ici ma reconnaissance à M. P. PRUVOST, Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille. Tout ce qui, dans l'énorme matériel remué par moi pour mettre au point l'étude anatomique de cette espèce, a été utilisable et utilisé, je le dois à une bienveillance universellement reconnue et à un esprit de désintéressement vraiment scientifique dont je tiens à lui rendre hommage.

Genre *Corydopodium* nov.

Corydopodium Pruvosti nov. sp.

Algue calcaire en forme de buissons largement étalés. Le thalle s'accroît par voie de bourgeonnement ; les bourgeons se développent sur

72. Du grec : ὁ χορυδός, οῦ, l'alouette — ὁ πούς, ποδός, la patte.

le thalle auquel ils restent unis par une portion rétrécie, pédonculaire, tandis qu'ils évoluent dans leur portion distale qui peut à son tour bourgeonner. Ce thalle, de texture granuleuse, est dépourvu de toute structure cellulaire et creusé de nombreuses vacuoles ; plus dense en surface, il y prend un aspect nettement membraneux. Il devient fréquemment floculent dans ses portions évoluées. Cet organisme se reproduit vraisemblablement par multiplication végétative ou bouturage (grumeaux en forme de bâtonnets). Il peut atteindre une grande envergure (1 m. 20 sur 1 m. 60 et plus).

CHAPITRE V.

MARBRE CAROLINE.

Le marbre *Caroline* et le marbre *Rubané Notre-Dame* sont tous deux essentiellement rubanés et grumeleux, ces deux termes répondant le premier à une allure d'ensemble du sédiment, à une structure, le second à sa texture fine. Comme c'est surtout la texture qui définit les facies, ce chapitre sera consacré à l'étude des calcaires grumeleux. Je laisserai donc momentanément de côté les rubanés de texture graveleuse et les rubanés de texture oolithique.

Après avoir décrit en détail le marbre Caroline, il me sera facile d'analyser brièvement et par manière de comparaison le marbre Rubané Notre-Dame.

I. SITUATION STRATIGRAPHIQUE DU MARBRE CAROLINE ; CENTRES D'EXPLOITATION.

Le marbre Caroline (cf. Pl. VIII, fig. 29) est un des termes de l'épaisse série de rubanés dont la superposition constitue la presque totalité de la carrière du Haut-Banc et la portion orientale de celle du Petit Haut-Banc.

A. — Cette série rubanée repose sur une formation massive de calcaire graveleux à structure entrecroisée qui fut, un temps, exploité comme marbre à la carrière du Haut-Banc sous le nom de « *Banc de* 11 *pieds* ».

Ce complexe graveleux est recouvert par un ensemble de bancs qui, sur front de carrière, se montrent parcourus de lignes horizontales, épaisses, continues, arquées ou festonnées, de teinte plus foncée. Ce sont là les sections verticales de vastes croûtes organiques étalées dans un

sédiment de texture grumeleuse ; par leur superposition, elles communiquent à l'ensemble un aspect nettement rubané.

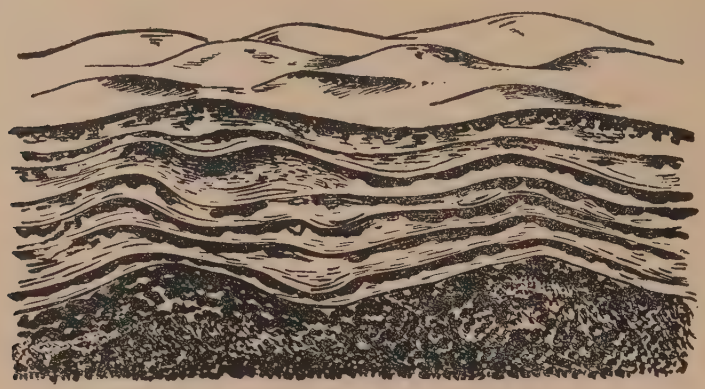


Fig. 11. — Marbre rubané du type « Caroline », constitué par l'alternance d'organismes laminaires (portion intermédiaire) et de rubans grumeleux résultant, en grande partie, de l'accumulation de débris de ces organismes (partie basale mouchetée).

Ces organismes forment, sur le fond, de vastes croûtes bossuées ; ces croûtes, souvent beaucoup plus accidentées que ne le montre le schéma (portion supérieure), sont recoupées, en coupe horizontale, sous la forme de cercles concentriques plus ou moins réguliers.

Ces rubanés alternent plus ou moins régulièrement avec des épisodes de calcaire grenu à niveaux fossilifères (entroques, Polypiers, esquilles de Brachiopodes, Foraminifères, etc...) ; les rubans plus sinueux et plus organiques dans le bas de la série [72bis] deviennent ensuite plus réguliers d'allure et de texture ordinairement grumeleuse. C'est à cette portion supérieure qu'appartient le marbre Caroline (cf. Tableau p. 34).

B. — Le marbre Caroline (cf. Pl. VIII, fig. 29) représente la portion supérieure, blanchâtre et rubanée, d'un complexe de 80 cm (banc) dont la moitié inférieure, noire et non rubanée, est constituée par un calcaire grenu. Il est facile de reconnaître là la « *moitié marbre* » (portion rubanée) et la « *moitié calcaire ordinaire* » (portion de calcaire grenu)

72 *bis*. Des organismes rubanés situés dans le bas de la série et superposés au « Banc de onze pieds », dont j'ai reproduit la texture à la figure 32 de la planche VIII, il convient de rapprocher certaines formations de la faune cambrienne de Carteret (organisme C) figurées par M. BIGOT dans le *Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie*, 7e Série, vol. 8, 1925, pl. VIII, fig. 17a et 17b. — En attendant qu'une étude de la texture fine (si elle est possible) ait été faite, je ne puis qu'indiquer l'analogie de structure des deux organismes normand et boulonnais en coupe verticale (17a) et en coupe horizontale (17b).

dont parle ROZET [73] à l'occasion des carrières du Haut-Banc. ROZET ne nomme pas le marbre qui est de toute évidence le marbre Caroline ; faut-il voir là une preuve que ce marbre, à peine exploité, n'avait pas encore reçu son nom? L'année suivante (1829) BERTRAND le cite de son nom et en fait une des cinq variétés du marbre Henriette ; il le décrit comme étant « d'un fond gris-clair, traversé de larges bandes d'un gris-foncé, disposées en manière de rubans, à peu près comme dans les albâtres gris d'Italie » [74] et comme provenant des carrières du Haut-Banc.

C. — On ne l'a jamais exploité que suivant sa direction verticale ; et, si son exploitation n'a pas duré, cela tient à diverses causes dont les principales sont : sa faible épaisseur (40 cm) et la difficulté d'en appareiller les fragments polis, difficulté qui tient à la trop grande régularité des rubans et au fait qu'ils changent fréquemment de teinte suivant les places. Il est exploité en 1829, au dire de ROZET et de BERTRAND, dans les carrières du Haut-Banc — il fut exploité au ciel de la paroi orientale de la carrière des Ramonettes N° 2 (cf. Carte des carrières N° 9) où s'observe encore aujourd'hui une surface de sciage laissée par l'exploitation au fil d'acier — on le tirait encore, peu avant la Grande Guerre, de la carrière actuellement en exploitation au Haut-Banc. L'extraction à fin de marbrerie y cessa dans le courant de 1906.

II. — DESCRIPTION.

Intéressé suivant sa direction verticale et sur front de carrière (ou, comme disent encore les gens du métier, « de contrepasse »), le marbre Caroline se présente sous la forme de fins rubans légèrement ondulés et de teinte alternativement plus claire et plus sombre, dans les tons blanchâtre, grisâtre, brun, rosé et même rougeâtre. Le grain de la roche varie d'un ruban à l'autre: certains paraissent homogènes et compacts, d'autres dont le grain est visible à première vue sont grumeleux et d'aspect finement bréchique, il en est enfin d'intermédiaires que je qualifierai de subcompacts. En règle générale, ces rubans sont constitués par des débris ou des fragments calcaires ; cependant, à titre exceptionnel, l'un ou l'autre d'entre eux est nettement organique et l'organisme qui le constitue se présente sous forme d'une lame entière ou fragmentée. Tous ces rubans sont plus ou moins réguliers, et, les organiques mis à part, peuvent prendre la forme de lentilles amincies aux deux extrémités.

73. ROZET M. — Description géognostique... — 1828, p. 94.

74. BERTRAND. — Précis de l'hist de Boul.-sur-Mer... — 1829, 2e volume, pp. 445 et 446.

Je ferai successivement l'étude des rubans, des grumeaux et des organismes laminaires qui s'y rencontrent.

A. — Rubans.

Quoi qu'il en soit des apparences, l'ensemble est de texture grumeleuse.

1. — Les rubans compacts, auxquels je viens de faire allusion, et qui, au binoculaire, m'apparaissaient comme étant de texture granuleuse, se révèlent au microscope comme formés de grumeaux noyés et comme fondus dans un fond crypto-grumeleux ou granuleux.

Ces grumeaux, de nature granuleuse, sont mal individualisés et, pour autant, difficiles à distinguer. Cela tient au fait que la calcite interstitielle est à peu près inexistante et qu'elle est, pour l'ordinaire, cristallisée en tout petits éléments : les grumeaux se présentent sous forme d'ombres, de mouches plus opaques que le fond de la roche et plus homogènes.

Le fond crypto-grumeleux, opaque, est troué de multiples petits points cristallins. Il en est sûrement d'origine organique mais leur taille minuscule s'oppose à leur détermination. J'ai néanmoins pu identifier l'un de ces articulets comme esquille d'Ostracode, grâce à sa forme légèrement courbe et à sa texture simple et prismatique. Beaucoup d'autres sont les éléments constituants d'une matrice à peu près inexistante.

L'absence ou la quasi-absence de matrice ne peut être envisagée ici comme le résultat d'une compénétration ou d'une déformation des grumeaux. Elle est fonction du tassement et ce tassement lui-même est conditionné par l'exiguité des éléments qui entrent dans la constitution du fond crypto-grumeleux.

2. — D'autres rubans ont une texture grumeleuse plus nette dont le grain se décèle aisément à la loupe à main. Suivant la taille des éléments, leur agencement, leur état de tassement plus ou moins accentué, on pourra avoir tous les aspects et même, dans certains cas, l'illusion d'une véritable structure : les grumeaux, venus au contact, ont laissé subsister entre eux de petits vides qui ultérieurement se sont remplis de calcite plus largement cristallisée et miment à la perfection des formes tubulaires et réticulaires, et même certains types de structure que j'ai décrits à l'occasion du marbre « Pattes d'Alouettes ». De ces nombreux types de grumeleux, je n'en citerai que deux:

— les rubans de structure homogène, dont les éléments ou grumeaux sont de même taille approximative, et chez lesquels, de ce

fait, la sédimentation confuse pourrait être dite du type entrecroisé (cf. Pl. VIII, fig. 31, moitié supérieure);

— les rubans constitués par des grumeaux de taille très variable répartis horizontalement par niveaux (cf. Pl. VIII, fig. 31; Pl. IX, fig. 35).

B. — Grumeaux.

Le principal problème que pose le facies grumeleux est celui de sa formation, et partant de son origine — autrement dit celui de l'origine des grumeaux qui le composent. Ces éléments sont-ils exclusivement ou non d'origine organique? et, dans l'affirmative, quels sont les organismes aux dépens desquels les sédiments grumeleux se sont formés?

Pour résoudre ce problème, une étude s'impose, l'étude microscopique des éléments, des grumeaux. Laissant de côté les fragments de toute petite taille qui ne peuvent, vu leurs dimensions, nous fournir une texture qui, pour être concluante, doit présenter un minimum d'étendue, je n'étudierai que les plus gros. Voici les principaux types:

1) grumeaux homogènes de texture exclusivement granuleuse, les uns de forme sphérique ou ovale à contours très nets, les autres irréguliers et de forme variable;

2) fragments de texture granuleuse, montrant dans leur masse de petites taches cristallines de forme sphérique;

3) fragments granuleux marqués de taches cristallines irrégulières et évoquant l'idée d'un fragment de thalle floculent ;

4) grumeaux allongés, en forme de plaques rectangulaires, présentant des ponctuations ou des raies de calcite cristalline orientées dans le sens de la plus faible épaisseur.

Ces fragments sont en général nettement individualisés ; parfois cependant il en est qui sont encore unis deux à deux par des processus tractiformes.

C. — Organismes.

A côté des rubans grumeleux essentiellement ou même uniquement constitués de grumeaux, il faut signaler des rubans organiques.

Les organismes qui prennent part à la constitution des rubans du marbre Caroline paraissent de même nature que ceux de la base de la série rubanée mais ils sont ici d'épaisseur moindre et moins bien conservés. J'en citerai deux types dont l'un, le premier, présente des caractères qui rappellent ceux de *Corydopodium*.

1. — *Organisme dont la structure rappelle celle de Corydopodium.*

a. — Organisme thalliforme à portions plus ou moins largement développées (lames) réunies les unes aux autres par de fins tractus. L'ensemble du thalle est de calcaire granuleux; la texture en est habituellement confuse mais là où elle s'observe, elle ébauche quelques-uns des aspects que j'ai décrits à l'occasion du marbre « Pattes d'Alouettes », à savoir : fond granuleux sillonné de lignes noires (enveloppes vues en section), — présence sur le fond du thalle de taches circulaires plus claires et rappelant les ampoules de *Corydopodium*, — petits nids de grumeaux analogues aux bâtonnets mais ici de taille beaucoup plus petite et de forme différente (cf. Pl. VIII, fig. 32).

A signaler en outre, comme caractère nouveau, la présence, dans les interstices libres entre les lames, de corpuscules de forme ovale ou subsphérique. Ces corps sont complètement opaques (cf. Pl. VIII, fig. 32) et vraisemblablement de calcaire granuleux, bien qu'on n'en distingue pas les granules. Il n'y a pas de doute pour moi que ces organes ne soient ici en place et ne correspondent à quelque phase de fructification de l'organisme; l'un ou l'autre en effet est rattaché au thalle par un pédoncule (cf. Pl. VIII, fig. 32, secteur nord-ouest) et, comme ce pédoncule est rétréci, la probabilité est pour qu'il soit rarement intéressé. Il est possible toutefois que le prétendu pédoncule ne soit qu'un tractus et que les corpuscules se soient développés aux dépens d'une lame organique qui de ce fait a disparu en tant que telle. Ils sont de plus en contact tellement étroit avec le thalle que celui-ci souvent porte en creux l'empreinte du corpuscule qui s'y trouve. Ces organes enfin se rencontrent jusque dans les parties du thalle où le réseau est intact et où ses mailles sont le plus serrées, comment auraient-ils donc pu s'y introduire du dehors?

b. — Dans certains cas, l'oblitération atteint à la fois l'allure d'ensemble et la texture qui ne rappellent plus que de très loin celles des *Corydopodium*, masquées au surplus par un phénomène plus ou moins accentué de dolomitisation. Les processus tractiformes et les bourgeons sont à peu près inexistants ; seules ont subsisté les portions épaissies du thalle (lames), où une vague orientation des granules du fond et des taches cristallines suggère un rapprochement avec le phénomène de floculation observé chez *Corydopodium* (cf. Pl. IX, fig. 35, ruban supérieur). Etant donné l'aspect d'ensemble et l'état de continuité relative du thalle, je ne puis songer à admettre un transport de matériaux, si négligeable que puisse être imaginé ce transport. Le thalle s'est développé sur place mais, pour des raisons diverses, sa texture s'est plus ou moins profondément altérée tandis que l'organisme gardait son allure d'ensemble.

c. — Malgré le mauvais état de conservation de la texture fine, l'étude de quelques fragments de thalle et l'ensemble des autres caractères que j'ai cités, de même que la structure d'ensemble m'incitent à rapporter cet organisme au genre *Corydopodium ;* mais, sa forme étant ici moins massive, aplatie en forme de lame et de ruban, j'en ferai une espèce distincte sous le nom de :

Corydopodium laminare nov. sp.

A cette espèce se rapporteraient, d'après moi, les grumeaux décrits plus haut sous les n^{os} 2 et 3 et partie aussi de ceux décrits sous le n° 1.

2. — D'autres organismes rubanés à portion thallaire encore plus réduite paraissent limités par des croûtes granuleuses. Ces croûtes se montrent divisées dans leur épaisseur ; les solutions de continuité sont marquées par des traînées cristallines horizontales recoupées verticalement par de petits canaux qui les font communiquer les unes avec les autres. Il semble que ces croûtes aient tendance à se disloquer et à se fragmenter suivant ces lignes de moindre résistance ; elles auraient de ce fait donné naissance aux fragments grumeleux rectangulaires que j'ai décrits plus haut sous le n° 4.

D. — Conclusion.

Ainsi donc, sans prétendre que tous les calcaires grumeleux soient formés exclusivement par l'accumulation de débris organiques que j'inclinerai à regarder comme appartenant au règne végétal, je crois pouvoir conclure que c'est nettement le cas du marbre Caroline: à côté d'organismes rubanés à structure plus ou moins bien conservée et du type laminaire, d'autres rubans sont constitués essentiellement par ces mêmes organismes plus ou moins disloqués, plus ou moins finement divisés, et pouvant assumer dans certains cas l'allure bréchique.

Je n'ai fait, il est vrai, que l'étude des grumeaux de grande taille, les seuls qui pussent me permettre de tirer argument; il me semble néanmoins logique de déduire que, si les portions massives ont fourni des fragments grumeleux de grande taille, les petits grumeaux qui leur sont mélangés proviennent, soit des petits nids dont j'ai parlé plus haut, soit de la fragmentation des petits tractus qui joignent les unes aux autres les portions plus massives du thalle d'autant que souvent ces tractus ont disparu en tout ou en partie et que les lames semblent affaissées les unes sur les autres.

III. — COMPARAISON DES ASPECTS FOURNIS PAR LE MARBRE CAROLINE AVEC LES STRUCTURES DES SPONGIOSTROMIDES.

Les calcaires grumeleux qui viennent d'être décrits sont donc, selon moi, des calcaires de débris organiques, interrompus ou non par des organismes rubanés à structure plus ou moins bien conservée. On conçoit aisément que ces débris, suivant leur forme, leur taille et leur degré de tassement, sous l'influence de phénomènes plus ou moins accentués de dissolution et de recristallisation, puissent donner naissance à des sédiments d'aspects très divers, dont quelques-uns miment à la perfection certaines structures interprétées comme organiques par GURICH dans son travail sur « Les Spongiostromides du Viséen de la Province de Namur ».

J'incline à interpréter comme calcaires grumeleux de formation mécanique plusieurs des aspects figurés par GURICH et définis par lui comme organismes. Cette interprétation ne s'est pas imposée à moi du premier coup ; c'est le résultat d'un long et laborieux examen poussé jusqu'au détail même de la texture des grumeaux.

A l'esprit de GURICH s'est posée de même l'hypothèse de formations mécaniques :

« L'étude de ces structures est... très difficile, parce que la trame organique a été fréquemment, et fort irrégulièrement, l'objet de recristallisations qui rendent l'ensemble absolument confus. On court le danger de prendre des restes modifiés d'organismes connus (par exemple, de Stromatopores) pour tout autre chose. D'un autre côté, on peut être conduit à considérer des sédiments clastiques, des formations incrustantes sédimentaires et des actions minérales secondaires pour le produit de l'activité des organismes » [75].

« Il est très difficile de tracer la limite de ces structures et de simples formations sédimentaires mécaniques » [76].

Après de multiples hésitations, il a penché pour l'hypothèse organique et a groupé ses formations et ses structures dans la famille des Spongiostromides et l'ordre des Spongiostromacés dont il fait une famille et un ordre à part dans le groupe des Protozoaires.

Ce n'est pas sans appréhension que j'entreprends l'étude critique du travail de GURICH. Il faudrait, pour le faire avec quelque sécurité, le matériel et les lames minces dont s'est servi l'auteur ; les illustrations,

75. GURICH G. — Les Spongiostromides du Viséen de la Province de Namur. — *Mém. Mus. roy. Hist. Nat. Belgiq.*, Bruxelles, 1906, t. III, p. 6.

76. GURICH. — op. cit., p. 15.

très abondantes toutefois, qui accompagnent son travail, manquent souvent de la netteté indispensable en pareil cas. Ce peu de netteté tient à l'épaisseur des lames et elle a encore été accentuée par les grossissements auxquels il a fallu recourir pour mettre en évidence les détails de la texture. De la lecture et de l'étude du texte, il reste en outre une impression pénible d'obscurité et d'imprécision résultant à la fois d'un excès d'analyse dans l'étude du tissu organique et d'un excès de systématisation dans la classification des structures.

A. — Les structures des Spongiostromides.

1. — *Formations grumeleuses.*

Les aspects figurés par GURICH peuvent se répartir en deux classes : formations grumeleuses et formations organiques, les premières se présentant sous la forme de dépôts à structure entrecroisée, ou bien sous la forme de calcaires rubanés ou zonaires, à éléments (grumeaux) de grain uniforme et de tailles diverses.

Ainsi en est-il de sa « *structure granulaire* » qui n'est autre, selon moi, qu'un calcaire de texture grumeleuse, de grain plus ou moins fin suivant les cas mais homogène (cf. GURICH, Pl. XVII, fig. 1 et 2).

Presque toutes les formes groupées dans les genres *Spongiostroma* et *Chondrostroma* et par le fait même les structures « *vermiculaire, nodulaire, bacillifère* », seraient à réunir sous la même rubrique, à savoir: calcaires grumeleux, de débris en partie organiques, à structure entrecroisée (cf. GURICH, Pl. XII, fig. 3, partie de droite) ou rubanée (cf. GURICH, Pl. VII, fig. 1 ; VIII, fig. 2 ; X, fig. 3 ; XII, fig. 3 partie de gauche etc.) et à éléments de nature et de tailles diverses entremêlés. Il convient de faire remarquer que, outre les grumeaux, il reste des fragments de thalle parfaitement reconnaissables. A ce point de vue, la fig. 2 de la planche IX du travail de GURICH est particulièrement suggestive : on y voit, dans la moitié inférieure de la photographie et vers le milieu, une large plage blanche de calcite secondaire dans laquelle nagent des fragments granuleux à portions dilatées réunies par des rubans rétrécis en forme de tractus ou de pédoncules. Ces fragments thalliformes rappellent à s'y méprendre le tissu de *Corydopodium*.

2. — *Formations organiques.*

Il est enfin des aspects qui suggèrent, non plus seulement des fragments plus ou moins bien conservés d'organismes mais des formes dont la structure d'ensemble a été sauvegardée ; ce sont les aspects qui répondent aux structures « *spongieuse* » « *plumeuse* » et aux espèces

types *Pycnostroma densius* (cf. GURICH, Pl. IV, fig. 1 et 2), *Malacostroma undulosum* (cf. GURICH, Pl. XVIII, fig. 2), et *Malacostroma plumosum* (cf. GURICH, Pl. XVIII, fig. 1).

B. — La texture des Spongiostromides.

GURICH fait allusion à plusieurs reprises à certains détails de structure (texture) et signale des indications très nettes de piliers verticaux et de feuillets horizontaux, « des canaux coloniaux » et un véritable tissu organique qu'il figure avec une satisfaction non équivoque à propos du genre *Spongiostroma*. Voici d'ailleurs, à titre documentaire, la diagnose qu'il donne de la famille des *Spongiostromidae :*

« Organismes incrustants et consistant en couches alternantes plus ou moins compactes. Le tissu est formé par des granules arrondis ou étirés verticalement, et périodiquement plus serrés en rangées horizontales. Ce tissu est traversé, sans aucune régularité, par des canaux plus fins (appelés canaux du tissu), et par des canaux plus larges (appelés canaux coloniaux). Chez certaines espèces, on remarque, dans le tissu, de petits corps, de forme spéciale et peu régulière, qu'on doit considérer comme des Stercomes. La charpente squelettique n'était probablement pas en calcaire compact, mais, sans doute, de structure, en partie calcaire, en partie organique » [77].

1. — *Piliers verticaux et feuillets horizontaux.*

Les piliers verticaux et feuillets horizontaux dont parle GURICH dans sa diagnose ne me paraissent pas différer sensiblement de ce que j'ai dénommé *pédoncules* (portions peu évoluées) et *lames* (portions évoluées et élargies) dans la description du thalle de *Corydopodium*. L'auteur renvoie de son texte aux planches qui figurent les espèces *Aphrostroma tenerum* (Pl. I, fig. 3), *Chondrostroma intermixtum* (Pl. XIII), *Malacostroma undulosum* (Pl. XVIII, 2 et XIX). A vrai dire, dans les reproductions des deux premières espèces, aucun détail un peu net ne suggère la présence de piliers et de feuillets. Quant au *Malacostroma undulosum*, reproduit par GURICH dans la figure 2 de sa planche XVIII, il serait, autant qu'on en peut juger, à rapprocher de *Coryd. laminare*.

2. — *Canaux coloniaux.*

Il faudrait aussi mettre en doute l'existence de véritables canaux coloniaux auxquels l'auteur fait allusion à maintes reprises, tant au courant du texte (pp. 36, 39, 40, 43, 44...) que dans les légendes des planches (VIII, 1 f et 2 d ; IX, 1 ; XIII, 2 et 3 b ; XV, 2 et XVIII, 2).

77. GURICH. — op. cit., pp. 35 et 36.

Ce sont des « cavités de forme irrégulière » qui « s'étalent entre les feuillets, chevauchant aussi, fréquemment, par dessus plusieurs feuillets ».

A vrai dire, l'étude attentive des planches qui sont consacrées au genre *Aphrostroma* (auquel le texte cité se réfère) n'entraîne pas la conviction. Si, par ailleurs, on considère les figures 1 f et 2 d de la planche VIII, la figure 1 de la planche IX et surtout la figure 2 de la planche XVII, on peut se demander si ces cavités irrégulières ne sont pas de simples lacunes interstitielles, originelles ou de dissolution, remplies ultérieurement, suivant les places, de calcite de consolidation ou de recristallisation.

3. — *Tissu organique.*

En dehors du genre *Pycnostroma* et des *Malacostroma undulosum* et *plumosum,* seul *Spongiostroma maeandrinum* (cf. GURICH, Pl. VI, fig. 1) offre un tissu net. Dans les autres cas et en particulier chez *Chondrostroma vermiculiferum* (cf. GURICH, Pl. XIV, fig. 3) le vague aspect de réseau hexactinelloïde serait, selon moi, apparent, accidentel et dû à l'épaisseur de la lame mince. Les chondres grêles en forme de bâtonnets se superposant dans l'épaisseur de la préparation et se croisant suivant des angles variables, donneraient l'illusion d'un réseau qui n'a du reste rien de la régularité de celui du *Spong. maeandrinum.*

4. — *Stercomes.*

a. — Les « *Ovoïdes* ». J'ai dit ce qu'il fallait penser des ovoïdes auxquels j'ai assigné, sans le préciser, un rôle reproducteur. Après avoir essayé un rapprochement avec les ampoules des Stromatopores ou les gonophores des Hydrocoralliaires, GURICH incline à les comparer aux stercomes des Rhizopodes.

« L'irrégularité de la forme des ovoïdes de *Spongiostroma,* leur existence à l'intérieur des colonies, et leur entassement au dehors, la composition grenue de quelques uns, tout me paraît indiquer une comparaison avec les stercomes des Rhizopodes, ou, peut-être, avec les amas de boulettes fécales de ceux-ci » [78].

Les ovoïdes de GURICH (cf. entre autres Pl. IX, fig. 2) présentent une analogie frappante avec les corps subsphériques et ovalaires que j'ai observés inclus dans le tissu de *Corydopodium Pruvosti* (cf. Pl. IX, fig. 33). Dans ces dernières formes cependant, se remarquent, en certaines parties élargies du thalle, des portions granuleuses à tissu plus dense. Il y aurait là comme un phénomène de condensation préparatoire

78. GURICH. — op. cit., p. 27.

à la formation et à l'individualisation des ovoïdes, ces ovoïdes représentant autant de boutures destinées à assurer la reproduction de l'espèce.

Ces rapports de tissu à stercomes n'ont pas échappé à GURICH : « (la préparation dont je parle) a permis de constater les rapports entre le tissu et les stercomes. Tout d'abord, on voit quelques stercomes entourés d'une étroite bordure blanche, donc de calcite pure, qui, à son tour, est entourée d'une bande parallèle de tissu fondamental granulé » [79].

Stercomes et boulettes fécales ou éléments reproducteurs? J'incline pour la seconde hypothèse. En effet, s'il s'agissait de boulettes fécales, ces formations ne seraient pas pédonculées et rattachées temporairement au tissu, elles seraient plus uniformément répandues et non localisées à la surface supérieure des rubans organiques, enfin elles ne prendraient pas naissance comme prennent naissance les ovoïdes chez *Corydopodium Pruvosti* (cf. Pl. IX, fig. 33) et *Coryd. laminare* (cf. Pl. VIII, fig. 32).

b. — L'auteur a étendu la même interprétation à des corpuscules de formes diverses, en bâtonnets grêles et allongés ou stercomes bacilliformes (cf. *Chondrostroma intermixtum*, Pl. XIII, fig. 3 et *Chondrostroma vermiculiferum*, Pl. XIV, fig. 3), en bâtonnets courts et trapus ou stercomes noueux (cf. *Chondrostroma problematicum*, Pl. XII, fig. 3). Dans cette dernière espèce, « les Chondres seraient des Stercomes d'organismes à carapace » (à demi digérés) « dont il ne reste plus, toutefois, que des indications » [80].

Les illustrations ne permettent pas de contrôler ce dernier détail fort curieux en lui-même et plus encore par le rapprochement avec les planches de M. F. E. SCHULZE sur les Xénophyophores draguées en eau profonde par le Valdivia en 1898-1899.

Les stercomes bacilliformes de *Chondrostroma intermixtum* rappellent les nids de grumeaux en bâtonnet que j'ai décrits dans le tissu de *Corydopodium Pruvosti*. S'il y a identité, il ne peut être question de stercomes, les bâtonnets possédant une texture très nette.

c. — De ces divers corpuscules « ovoïdes », dont je fais des organes de reproduction — « stercomes bacilliformes » très voisins des bâtonnets que j'ai décrits à l'occasion du marbre Pattes d'Alouettes — « chondres » que GURICH identifie comme des stercomes d'organismes à carapace à demi digérés, opinion qu'aucune observation ne me permet de confirmer ou d'infirmer, — il convient de distinguer des fragments

79. GURICH. — op. cit., p. 44.
80. GURICH. — op. cit., p. 46.

en plaquettes allongées et plus ou moins rectangulaires qui proviennent, à mon sens, de la dislocation de croûtes organiques et qui tranchent, par leur texture et l'irrégularité de leur forme, sur les ovoïdes, les stercomes bacilliformes et les chondres.

IV. — CONCLUSIONS TOUCHANT LES SPONGIOSTROMIDES.

Je signalerai enfin, pour terminer, quelques rapprochements que me suggère l'étude du mémoire de GURICH.

A. — Au genre *Corydopodium* se rapporteraient certaines structures figurées par GURICH dans sa planche II. Ce sont les arborisations qui occupent le secteur sud-est et partie du secteur sud-ouest (entre la lettre b et le bord de la photographie) dans la figure 1. Il en serait probablement de même de la figure 2 et de l'organisme dénommé par l'auteur *Aphrostroma tenerum*. C'est chose malaisée de préciser à quelle espèce nous avons affaire et s'il s'agit d'un fragment de la forme en buisson massif (*Corydop. Pruvosti*) ou de la forme aplatie et rubanée (*Corydop. laminare*). A cette dernière forme pourrait être rapporté le *Spongiostroma granulosum* de la planche XI, fig. 2; mais il me reste un doute, car les illustrations de l'auteur concernant cette forme, manquant du grossissement et des détails nécessaires, le rapprochement que je fais se base surtout sur une impression et un aspect d'ensemble.

Au même type d'organisme appartiendrait selon moi la structure figurée par GURICH à la pl. IX (fig 2) et nommée par lui *Spongiostroma ovuliferum*. Mais il s'agit là d'un organisme dont la structure a été détruite et dont il ne reste que des vestiges que l'on voit noyés dans la calcite au centre du secteur sud.

B. — Le *Pycnostroma densius* Gurich 1906, me rappelle l'organisme du marbre Henriette et les *Sphaerocodium* incrustants décrits par ROTHPLETZ. L'allure d'ensemble de l'organisme (cf. GURICH, Pl. IV, fig. 2) et certaines portions de la fig. 1 de la pl. IV et de la fig. 1 de la pl. V me font penser à une forme analogue sinon identique à celles décrites par ROTHPLETZ : les plages blanches représenteraient des zones à gros tubes plus ou moins bien conservées — et les portions opaques, les zones à fin squelette toujours très riches en calcaire granuleux. Une identification plus précise ne me paraît guère possible, ROTHPLETZ ayant basé son diagnostic spécifique sur des détails de morphologie et de texture fine que les planches de GURICH ne m'ont pas permis de contrôler.

C. — Si les rapprochements que je viens d'esquisser gardent leur valeur, les noms de *Corydopodium* et *Sphaerocodium* me paraissent devoir être conservés : le 2e à titre d'antériorité ; le 1er parce que la description que j'ai donnée du *Corydopodium* ne coïncide en rien avec les descriptions des structures données par GURICH et que j'ai rapportées à ce genre.

CHAPITRE VI.

MARBRE RUBANÉ NOTRE-DAME.

Du point de vue pétrographique, le Rubané Notre-Dame est un marbre analogue au marbre Caroline.

Il est formé par une succession de dépôts grumeleux et organiques, ces derniers à caractère plus ou moins accentué suivant les niveaux, et comprend deux séries de rubanés séparées par une formation organique (Napoléon Gris). La série superposée au Napoléon Gris s'appelle Lunel rubané n° 1 — et la série sous-jacente au Napoléon Gris, Lunel rubané n° 2, parce que, plus éloignée de la surface, cette dernière a été découverte en second lieu. Voici, en superposition normale de haut en bas, la succession de ces diverses formations :

— Lunel n° 1 ou Rubané Notre-Dame, très délité (3 m. 50 environ).
— Napoléon gris, de 1 m. 30 à 1 m. 50 d'épaisseur.
— Lunel rubané n° 2, à rubans plus larges (2 m. 50 environ).
— Napoléon tigré dit « Pattes d'Alouettes », de 0 m. 80 à 1 m. 20.
— Napoléon Grand Mélange de 4 à 5 m.

LUNEL RUBANE N° 1 [80bis].

C'est, dans l'ensemble, une formation rubanée, à caractère détritique et organique très accentué. Elle mesure en épaisseur approximative 2 m. 50.

Les rubans limités par des lignes stylolithiques jaunes ou rouges varient beaucoup en épaisseur ; les plus épais mesurent dans les 5 cm.,

80 *bis*. Le Lunel n° 1 ou Rubané Notre-Dame et le Lunel rubané n° 2 étant des formations analogues, décrire l'une c'est par le fait même décrire l'autre à quelques détails accessoires près.

mais, en certains points de la formation, les stylolithes se multiplient, se coupent et se recoupent dans toutes les directions, d'où l'aspect morcelé que prend parfois le calcaire.

A. — Dans le bas, on voit persister sous forme de taches brunes et de paraphes blancs, d'une part les Pattes d'Alouettes, d'autre part certaines masses organiques que j'étudierai plus loin et que d'aucuns, en carrière, ont baptisé des noms de Mam'zelles ou Gra'mères en raison des aspects (figurines) sous lesquels ces masses se présentent parfois.

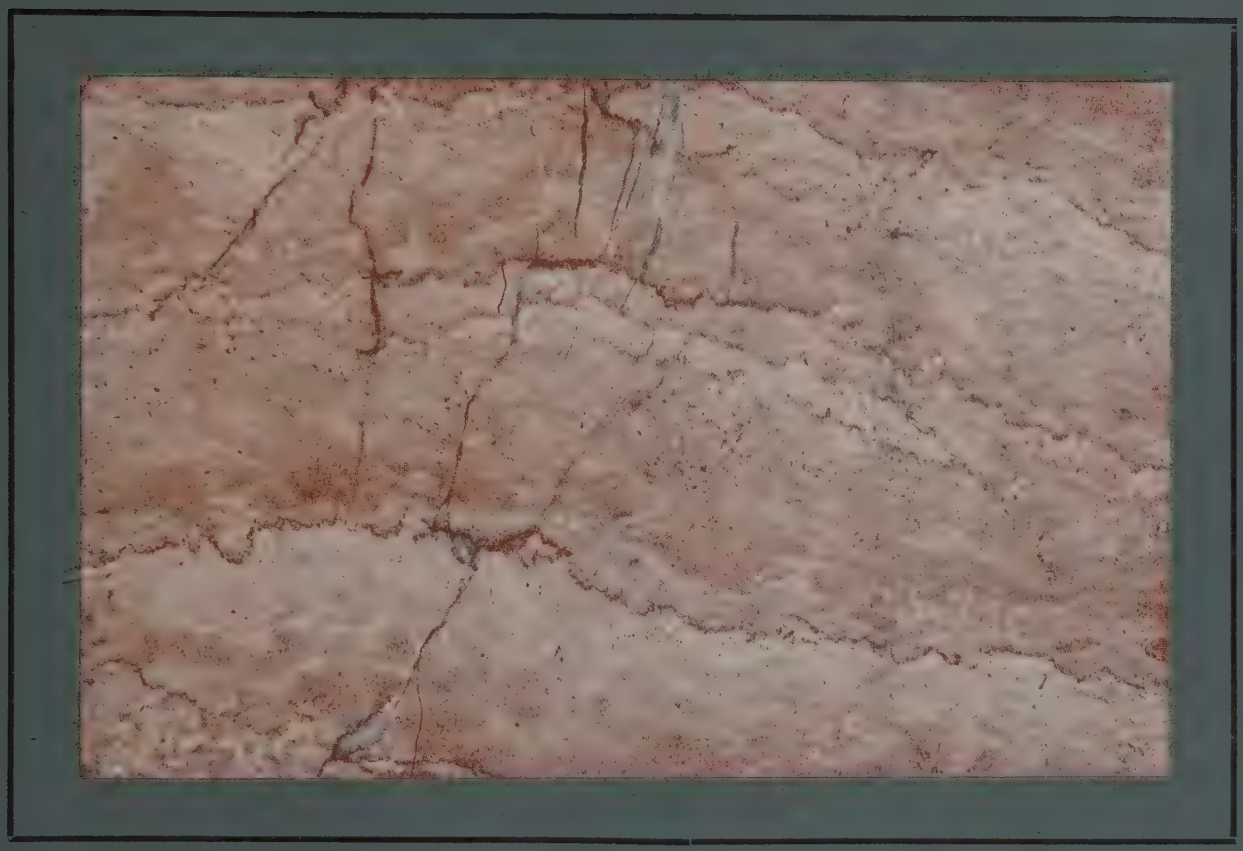
Le facies devient bientôt plus ou moins finement bréchique : la teinte grise qui marque le fond de la roche est relevée par de petites mouches ou flocons blanchâtres mélangés de fragments plus gros et de tailles variées. Ces fragments sont les uns de teinte unie gris blanc ou gris foncé — d'autres sont zonés de gris blanc et de gris foncé ; tous sont de facies grumeleux et font penser à la destruction de petits lits rubanés de faible épaisseur. Ce caractère bréchique, ébauché dans le bas de la formation, s'accentue plus ou moins suivant les niveaux.

Il est plus malaisé de préciser avec certitude la nature et, par suite, l'origine des flocons blanchâtres : faut-il y voir une brèche de rubanés en lits plus minces et plus finement divisés ou une brèche à fragments de rubanés mêlés de fragments organiques ? Il est un fait certain : c'est que dans nombre de ces petits flocons j'ai observé des formations en tout identiques aux ampoules de *Corydopodium Pruvosti.* D'autres fragments se présentent comme des portions de thalle à texture floculente, mais, sur des surfaces d'aussi faible étendue, est-il possible de trancher sans témérité s'il y est question d'un grumeleux banal ou au contraire de minces débris organiques à texture floculente?

Somme toute, dans le tiers inférieur, la formation est de facies bréchique, la brèche résultant de la dislocation de rubanés zonaires et de la destruction d'une prairie de *Corydopodium.* Ces phénomènes se sont produits vraisemblablement sur place et sans transport appréciable de matériaux, à en juger par la forme anguleuse des fragments de rubanés et par ce fait que, à certains niveaux, des fragments anguleux contigus, de nature organique, semblent s'ajuster pour reconstituer par leur juxtaposition un fragment assez étendu de thalle de *Corydopodium.*

B. — Dans sa moitié supérieure, le Lunel rubané n° 1 est plus nettement organique.

Les fragments de « Pattes d'Alouettes » s'y présentent d'abord sous la forme de moutonnements d'un blanc laiteux qui tranchent sur un



MARBRE « RUBANÉ NOTRE-DAME »

(de la Carrière des Marbres du Boulonnais, Hydrequent)

fond terne, gris ou rosé, d'une texture grumeleuse plus ou moins compacte. Les portions de thalle qui s'y observent ont gardé leur structure ; de fins tractus unissent entre elles les lames qui sont vacuolisées par de nombreuses ampoules.

Vers le haut de la formation rubanée, les organismes prennent une plus grande extension verticale et horizontale. Il est toutefois malaisé de préciser, si ces amas organiques, recoupés en tous sens par des lignes stylolithiques lie de vin, font encore partie intégrante du Lunel rubané ou si, au contraire, elles constituent déjà la base du Napoléon Gris.

CHAPITRE VII.

LE MARBRE LUNEL.

Introduction.

A. — Variétés du Marbre Lunel.

On exploitait autrefois à Blecquenecques et l'on exploite encore aujourd'hui à Hydrequent (carrière Hénaux de la Vallée Heureuse) un marbre clair, de teinte grise ou rosée, recoupé à divers niveaux par des horizons plus foncés, les uns de nature organique, les autres de texture oolithique.

Ces différentes formations ont reçu en carrière des noms variés et sont exploitées à des fins diverses : le marbre clair (« *Lunel uni* ») et les épisodes oolithiques (*partie «pierre»*) sont utilisés comme pierre de taille pour la construction d'édifices et de monuments funéraires; les portions organiques (*«Lunel fleuri»*) fournissent des panneaux décoratifs pour intérieurs, lambris, cheminées, etc... Le Lunel uni est aussi exploité à fin de décoration surtout dans ses portions plus coquillières.

La masse du Lunel (défini comme il vient de l'être) présente une épaisseur de plus de 25 mètres; elle repose sur la dolomie à *Lithostrotion Martini* et les bancs dolomitiques qui lui sont superposés et est recouverte par 4 ou 5 mètres de calcaires rubanés qui séparent le Lunel du marbre Napoléon.

Les 15 mètres inférieurs sont en pleine exploitation, exploitation remarquablement intensifiée ces deux dernières années par l'édification en carrière du portique électrique roulant dont il a déjà été question plus haut (p. 29). Ils comptent au moins quatre variétés de Lunel fleuri (cf. Bancs de 250, 150, 175 et 160).

Les 10 mètres supérieurs, que l'on vient seulement d'entamer, et que, pour cette raison, je n'ai point analysés en détail dans le tableau, paraissent moins riches en la variété «Lunel fleuri».

Le tableau ci-joint donne une idée d'ensemble de cette formation.

	10,00	10 mètres supérieurs (Lunel du type « uni » en prédominance).	
Banc de 160	1,60	Calcaire gris, grenu, à nombreuses entroques, montrant des niveaux coquilliers à esquilles empilées (d'où allure plus ou moins rubanée).	
		Fleuri.	Lunel fleuri
		Calcaire gris brun, oolithique, à structure entrecroisée.	Partie pierre
		Calcaire gris brun, oolithique, à structure entrecroisée.	Partie pierre
« P. 1 » Parisien n° 1	1,80	Calcaire gris blanc, à grain fin.	Lunel uni
« P. 2 » Parisien n° 2	1,75	Partie sombre, rubanée.	
		« *Bouffées de pipe* ».	Lunel fleuri
		Calcaire gris clair à cordons organiques (*Mitcheldeania zonata*).	Lunel uni
		Calcaire gris, graveleux avec quelques oolithes.	Partie pierre
« P. 3 » Parisien n° 3	1,80	Calcaire gris, clair.	Lunel uni
« Vallée Heureuse »	3,50	Partie mouchetée, sombre et dure, présentant à sa base 2 cordons organiques.	
		Calcaire gris clair.	Lunel uni
		Portion foncée avec « clous » et taches noirâtres.	
		Calcaire gris clair (à Granulosphères).	
		Pénétration de fleuri.	Lunel fleuri
Banc de 150	1,50	Calcaire graveleux.	Partie pierre
		Fleuri à grandes fleurs dans le haut qui diminuent de taille vers le bas.	Lunel fleuri
		Calcaire gris blanc, à grain fin, avec Granulosphères et entroques.	
Banc de 250	2,50	Calcaire gris blanc, à grain fin, avec Granulosphères.	Lunel uni
		Fleuri « *Peau de panthère* » clair à sa partie supérieure mais allant en s'assombrissant.	Lunel fleuri
		Calcaire oolithique, à structure entrecroisée, passant dans le haut à un calcaire rubané de type graveleux ou grumeleux.	Partie pierre
		Calcaire à grain fin du type Lunel uni.	
	1 m. 30	Calcaire gris blanchâtre, à grain fin, pauvre en organismes.	Lunel uni
		Bancs dolomitiques à *Lithostrotion Martini.*	

Je laisserai de côté pour l'instant les horizons oolithiques qui sont ici purement accidentels et qui, de ce fait, ressortissent plutôt à l'étude de ce facies.

De même, le «Lunel uni» et les «Lunels fleuris» auraient pu être traités séparément, le premier, avec les calcaires de facies grenu, les seconds aux chapitres III et IV sous la rubrique «Marbres constitués essentiellement d'organismes».

Cependant, en raison même de l'homogénéité de la formation, il m'a paru préférable de les traiter dans le même chapitre et d'étudier dans le détail un ensemble, celui par exemple qui est représenté par les bancs «Parisien n° 1», «Parisien n° 2» et «Parisien n° 3» (cf. Tableau d'ensemble les 3 bancs P 1, P 2 et P 3 superposés au gros banc de 3 m. 50 surnommé «Vallée Heureuse»).

B. — Les Bancs « Parisien » P 1, P 2 et P 3 [81].

Ces trois bancs forment un ensemble assez homogène d'une puissance de 5 m 35 environ presque entièrement composé de «*Lunel uni*» recoupé au premier tiers supérieur par un épisode organique de «*Lunel fleuri*». Ils se terminent à leur partie supérieure par une zone sombre de 30 cm. constituée par un calcaire brun de facies oolithique entrecroisé. Cet épisode oolithique déborde le banc Parisien N° 1 et forme la base (sur 40 cm) du banc de 160 qui lui est superposé.

J'étudierai successivement dans ce chapitre le «Lunel uni» dans ses portions normales et, du banc Parisien P2 (cf. Pl. X) la portion inférieure (niveau coquillier du Lunel uni) et la portion supérieure (Lunel fleuri).

81. Le nom de « Banc Parisien » date de 1912, année où la Société des Carrières de la Vallée Heureuse et du Haut-Banc a commencé à fournir beaucoup de pierres façonnées à la ville de Paris. La teinte de ces trois bancs était (et est encore) préférée des architectes parisiens, c'est là l'unique raison de cette appellation.

LE «LUNEL UNI» DU BANC PARISIEN N. 2

Le «Lunel uni», ainsi appelé par opposition au «Lunel fleuri» parce que sa teinte est uniforme, est un calcaire de facies grenu; il peut, suivant les places, montrer dans son grain tous les intermédiaires entre le calcaire grenu le plus fin, voisin du calcaire granuleux (calcaire subcompact des stratigraphes) et les grenus les plus grossiers qui voisinent aux calcaires d'organismes.

La variété la plus fine de Lunel répond exactement à ce que les stratigraphes appellent calcaire sub-compact. A l'œil nu et à la loupe le grain même de la roche échappe ; seuls s'observent de minuscules scintillements dûs à la réflexion de la lumière par la calcite de menues particules organiques. En lame mince, sur un fond noir chargé de granules calcaires ressortent de petites taches claires de calcite hyaline qui représentent, outre la calcite interstitielle et de consolidation, des fragments organiques de tailles diverses mais réduites. Cette variété sera donc caractérisée par la prédominance relative de l'élément granuleux et par l'exiguité des éléments d'origine organique représentés surtout par des sections transversales et longitudinales de petits Tabulés, des sections d'Echinodermes, des Granulosphères, des *Endothyra*[82], des esquilles d'Ostracodes et des fragments d'Algues calcaires, de-ci de-là une esquille de Brachiopode. Le sédiment est sillonné en tous sens par des «*gris*», diaclases remplies de calcite secondaire (cf. Pl. IX, fig. 36).

Dans les Lunels unis de grain plus grossier, l'élément granuleux diminue beaucoup d'importance et la matrice est plus largement cristallisée. La faune reste essentiellement la même mais les fragments organiques se multiplient et leur taille augmente. Les organismes sont normalement disséminés sans ordre dans la roche ; toutefois, à divers niveaux, certains d'entre eux s'entassent et forment des cordons organiques. J'étudierai en détail un de ces cordons, d'abord en raison de l'aspect très particulier de l'organisme qui le constitue, puis parce que son étude nous facilitera l'interprétation du Lunel fleuri qui lui est superposé.

CORDONS ORGANIQUES.

I. — MORPHOLOGIE DE L'ORGANISME QUI LES CONSTITUE.

Deux de ces cordons s'observent dans le Banc «Parisien n° 2».

Ces deux cordons mesurent respectivement 12 et 5 cm environ

82. Sphères creuses à paroi épaisse de calcaire granuleux (Granulosphères) et Foraminifères (*Endothyra*) dont il sera question aux chapitres I et II de la deuxième partie (pp. 132 et 116).

d'épaisseur ; ils sont dûs à l'accumulation d'organismes à croissance divergente, formés de zones concentriques successives se débordant les unes les autres plus ou moins régulièrement. De ces organismes, les uns semblent libres et se développer en éventail dans toutes les directions ; d'autres paraissent incrustants et revêtent des fragments organiques, des esquilles de Brachiopodes (cf. Pl. Xa, le tiers inférieur).

II. — ANATOMIE DE L'ORGANISME.

A. — Ensemble.

1. — Les zones concentriques dont il vient d'être question et qui sont alternativement opaques et d'un blanc laiteux, ou d'un brun grisâtre avec poches de calcite, sont constituées, les premières par un calcaire granuleux très fin et très dense parcouru verticalement dans son épaisseur par de nombreux petits tubes, les secondes par de larges plaques de calcite hyaline où nagent par places des flocons granuleux (cf. Pl. XI, fig. 38 et 39).

Cette alternance de zones à textures différentes est plus apparente que réelle, car si j'observe les portions extrêmes des zones (où la croissance est moins active) ou encore ces zones elles-mêmes dans leurs portions les mieux conservées, je constate: dans le premier cas, que les zones se superposent immédiatement les unes aux autres, dans le second cas, qu'en général les tubes se continuent à travers et au delà des plages de calcite secondaire (cf. Pl. XI, fig 38).

L'organisme est donc entièrement constitué par des *tubes*. Ces tubes ne sont pas contigus ; les interstices qu'ils laissent entre eux sont comblés par une boue calcaire très fine relevée de multiples et minuscules fragments organiques qui tranchent en blanc brillant sur le fond noir de la boue granuleuse.

2. — Même dans les portions les plus vieilles de l'organisme, l'allure des tubes est assez nette; leur course est régulière, et, dès l'origine, ils prennent une direction verticale bien définie.

Ils présentent dans leur évolution deux aspects très divers et successifs : dans les zones opaques (d'un blanc laiteux sur le marbre poli) ces tubes sont *réguliers et de diamètre réduit,* dans les zones de texture moins compacte (lignes brunes) ils sont au contraire plus ou moins *dilatés et variqueux* (cf. Pl. XI, fig. 38, 39 et 40).

Vers l'extérieur, l'organisme semble limité par une sorte de croûte à allure concentrique moins nette, très granuleuse et de texture confuse (cf. Pl. XI, fig. 38). Des taches irrégulières de calcite hyaline qui s'y

observent on peut, me semble-t-il, légitimement déduire que la course des tubes est moins ordonnée dans les portions supérieures et superficielles de l'organisme. Du reste, l'organisme étant globuleux, il est normal que les sections basales et médianes montrent une structure tubulaire plus régulière.

B. — Détail.

1. —Dilatations ampulliformes et boudins variqueux.

Rien de spécial à ajouter sur les zones compactes à tubes fins et réguliers ; très variés par contre sont les aspects que prennent les zones où les tubes sont élargis.

Originellement, ces tubes sont munis de dilatations ampulliformes qui, plus ou moins régulières, résultent d'élargissements et de rétrécissements successifs dans le diamètre des tubes (cf. Pl. XI, fig. 39 et XII,

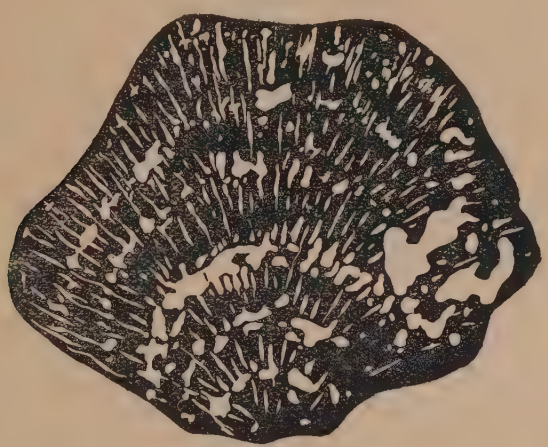


Fig. 13. — *Mitcheldeania zonata* n. sp.

Algue formée de tubes dépourvus de cloisons cellulaires, à croissance verticale et divergente.

L'allure zonaire très accentuée de l'individu tient à l'alternance régulière de zones plus compactes à tubes fins, espacés dans un calcaire granuleux abondant — et de zones à tissu plus lâche, interrompu par de larges poches de calcite hyaline.

Dans ces dernières zones, les tubes se bifurquent ; leurs parois fortement distendues ont éclaté, occasionnant des vides qui ont été ultérieurement remplis par de la calcite.

Sur le marbre poli, les zones à tissu dense ressortent en blanc laiteux sur la teinte foncée des zones à tissu lâche.

fig. 42). Ces dilatations se reproduisent à des niveaux constants pour l'ensemble des tubes ; des processus latéraux, creux, à direction horizontale, semblent établir une communication entre les ampoules d'un tube et celles du tube voisin (cf. Pl. XI, fig. 39 et 40). Ces communica-

tions latérales ne sont pas purement apparentes ; mais elles ne sont évidentes que dans les cas, peu fréquents, où la coupe passe par la partie médiane de l'ampoule, intéressant en même temps et l'ampoule et le processus creux qui joint une ampoule déterminée à sa voisine.

Dans la plupart des cas, les ampoules simplement déformées sur les côtés par la naissance des processus offrent un aspect d'ensemble réticulé fort suggestif.

Suivant les cas, les ampoules d'un même tube sont plus ou moins étroitement superposées et plus ou moins distinctes. Des phénomènes de dissolution inégalement accentués peuvent transformer ces tubes à ampoules régulières en boudins variqueux par élargissement des portions rétrécies qui séparent les ampoules, ou même en larges plaques de calcite hyaline par dissolution localisée des parois de plusieurs tubes voisins (cf. Pl. XI, fig. 39, portions inférieure et médiane).

2. — Multiplication des tubes par division dichotomique.

La croissance en éventail de l'organisme requiert une multiplication intensive des tubes qui le constituent. Cette division est dichotome (cf. Pl. XI, fig. 40) ; elle donne naissance à des tubes fins qui s'insèrent au même niveau sur le tube qui leur a donné naissance.

Il ne m'est pas possible de préciser si ces tubes sont au nombre de deux et opposés, ou s'ils forment un verticille. Les tubes prennent naissance sous un angle faible puis ils s'incurvent et montent côte à côte (cf. Pl. XI, fig. 40, vers le milieu et à droite de la diaclase).

3. — Planchers?

Dans les tubes enfin, j'ai constaté de-ci de-là (mais rarement) la présence de lignes granuleuses transversales s'étendant horizontalement d'une paroi du tube à la paroi opposée. Ces lignes granuleuses, parfois entières et bien conservées, sont plus souvent réduites à l'état de simples processus internes qui, des parois du tube, se dirigent l'un vers l'autre sans se rejoindre. Lignes et processus sont de même nature minéralogique que les parois mêmes du tube; ils sont de calcaire granuleux. Je ne puis préciser davantage leur rôle et leur signification, mais il me paraît peu vraisemblable d'en faire des planchers, ces formations ordinairement multipliées se seraient conservées dans des tubes qui sont par ailleurs en bon état de conservation. Peut-être ces parois transversales limitent-elles et individualisent-elles les ampoules à leur partie inférieure et supérieure.

C. — Résumé et interprétation de certains traits anatomiques.

L'organisme dont je viens de faire l'étude n'est pas un organisme massif parcouru par des cavités et des canaux comme on serait tenté de

le croire à un examen superficiel ; c'est une colonie d'organismes tubulaires qui se développe en éventail et s'accroît par divisions dichotomiques répétées de ses individus.

Comme on peut s'en rendre compte aisément par la photographie d'ensemble de l'organisme (cf. Pl. XI, fig. 38), et par les reproductions de détail (cf. Pl. XI, fig 39 et 40 ; et Pl. XII, fig. 42 extrémité droite), les tubes sont tous de même type et d'une venue, sans partitions transversales. Périodiquement, ils se rétrécissent et se régularisent ou s'élargissent et se boursouflent. L'allure zonaire de l'organisme est due surtout au fait que, cohérent dans les portions où le tube est droit, fin, dépourvu d'ampoules et de processus horizontaux, il est par contre lâche dans les régions variqueuses où il est souvent en partie détruit et remplacé par des flocons granuleux et des plages de calcite secondaire. Cette destruction est due vraisemblablement au fait que les boursouflures et les ampoules, en dilatant les tubes, ont rapproché leurs parois des parois de tubes voisins et, en diminuant le remplissage interstitiel, leur auraient enlevé de la solidité.

Mais la zonation de l'organisme trouve son explication première dans le rythme vital lui-même : l'organisme tubulaire croît (portions rétrécies et régulières) mais, dans son développement, il est amené finalement et périodiquement à se reproduire (phase des ampoules) et à s'étendre en surface. Je considère donc la phase des ampoules comme la phase reproductrice et les ampoules comme des cellules reproductrices. Au delà de la dernière ampoule, le tube reprend son calibre étroit et régulier, puis, nouvelle formation d'ampoules et ainsi de suite.

En ce qui concerne les ampoules, plusieurs questions se présentent à l'esprit mais les faits d'observation ne me permettent pas d'y répondre : ces ampoules sont-elles individualisées par quelque membrane et les parois granuleuses transversales complètes ou non n'en seraient-elles pas des vestiges? pourquoi y a-t-il plusieurs ampoules superposées pour un même tube? leur diamètre n'étant pas absolument identique, jouent-elles toutes le même rôle dans le phénomène de la reproduction? n'y a-t-il pas une relation entre ce phénomène et l'existence des communications latérales dont il a été parlé plus haut? etc...

III. — AFFINITES AVEC CERTAINS ORGANISMES DEJA DECRITS PAR D'AUTRES AUTEURS.

Deux organismes déjà décrits, et tous deux la même année (1886), montrent une ressemblance frappante avec l'organisme dont il vient d'être question. Ce sont : le *Zonotrichites lissaviensis* décrit par BORNEMANN et le genre *Mitcheldeania* défini par WETHERED.

A. — Zonotrichites.

Zonotrichites est une algue calcaire que BORNEMANN rapporte à la famille des *Rivulariaceae* et qu'il a découverte en petites masses globuleuses ou sous forme de croûtes dans une formation bréchique des environs de Lissau (Räth Oberschlesiens). Voici la description qu'il donne du genre:

« Algues calcaires fossiles constituées par des filaments à disposition rayonnante ; masses hémisphériques ou réniformes, croissant sur des corps étrangers ou les enveloppant. Ces organismes montrent, en coupe, des zones parallèles ou concentriques qui correspondent aux diverses phases de leur vie végétative. Les couches de base, une fois mortes, servent de support aux parties plus jeunes où les filaments nouvellement formés, à la manière du gazon, se développent en touffes rayonnantes » [83].

L'auteur fait ensuite un rapprochement curieux et suggestif de *Zonotrichites* avec deux organismes analogues, tous deux d'eau douce et vivant actuellement dans les lacs suisses et les torrents des Alpes: *Zonotrichia* (*Euactis*) *Heeriana* NAEGELI et *Zonotrichia calcivora* AL. BRAUN qu'il figure dans sa planche V (fig. 3, 4 et 5). Les taches blanches oblongues que présente l'organisme figuré sous le n° 4 de la planche V présenteraient pour moi un intérêt particulier ; quoique le faible grossissement de la photographie et son manque de netteté ne me permettent pas de dire avec certitude s'il s'agit là d'ampoules ou de boursouflures analogues à celles que j'ai décrites, il me semble néanmoins que leur régularité relative suggère plutôt cette explication et écarte l'hypothèse de simples lacunes remplies de calcite secondaire.

B. — Mitcheldeania.

M. GARWOOD auquel nous devons de nombreuses et intéressantes publications sur les Algues calcaires a donné en 1914 [84] une reproduction photographique de *Mitcheldeania* qui me suggère un rapprochement

83. « Fossile Kalkalgen mit strahlig geordneten Fäden, halbkugelige oder nierenförmige Lager bildend, auf anderen Körpern aufgewachsen oder solche einschliessend. Im Durchschnitt erscheinen parallele oder concentrische Zonen, durch die periodische Vegetation der Alge gebildet, indem stets die ältere absterbende Schicht der jüngeren als Grundlage diente, auf welcher die jungen Fäden in strahligen Gruppen rasenweise weiterwuchsen. » cf. BORNEMANN. — Geologische Algenstudien. — *Ihb. der königl. preuss. geolog. Landesanstalt*, 1886, p. 126 et 127, pl. V, fig. 1 et 2 et pl. VI.

84. GARWOOD E. J. — Rock-building organisms. *Geol. Magaz.*, Dec. VI, vol. 1, pl. XXI, fig. 2.

de ce genre et de l'organisme du banc « Parisien n° 2 ». L'allure des organismes est bien la même, tant en ce qui concerne la lamination concentrique que la forme bossuée des tubes et leur type de bifurcation.

1. — *Mitcheldeania* fut rencontré pour la première fois par WETHERED dans les lits de base du Calcaire carbonifère anglais (Lower Limestone shales of the Forest of Dean, Somersetshire) et il en décrivit la première espèce sous le nom de *Mitcheldeania Nicholsoni.* L'auteur décrit un organisme formé de lames concentriques et pénétré par deux systèmes de tubes:

« Les tubes sont séparés les uns des autres par un squelette fibreux ; ce squelette est parcouru par un système canaliculaire à menus éléments. D'autres tubes de plus grand diamètre caractérisent les lames concentriques supérieures ; ils apparaissent dans la troisième lame et augmentent beaucoup en nombre au fur et à mesure qu'on s'élève. Le squelette fibreux, par places, montre en outre des centres d'accroissement ; ces centres, qui sont constitués par des tubes fins à disposition concentrique, reproduisent dans leur ensemble l'allure qui caractérise le noyau de l'organisme entier. A la base, s'observe un pédoncule qui, selon toute probabilité, devait servir à la fixation de l'organisme » [85].

WETHERED joignait à sa description une figure qui, malheureusement, est illisible [86], et je n'ai pu mettre la main sur les Proceedings of the Cotteswold Naturalists' Field Club où il figura la même année, avec plus de succès, dit-on, l'espèce en question [87].

L'auteur fait allusion à deux sortes de tubes, de diamètre différent, à un tissu fibreux de nature squelettique séparant les gros tubes et parcouru par un système canaliculaire de moindre calibre ; des petits tubes, il faisait le coenosarque « rempli selon toute vraisemblance de matière vivante » [88], les gros tubes représentant pour lui les loges des zooïdes ou polypes.

85. « the tubuli are separated by the skeleton fibre which is itself penetrated by a minute canal system. There are also other tubuli of larger size than are seen in the inner laminae, which appear first in the third series, and become more numerous outwards. The skeleton fibre is also penetrated, in places, by centres of growth made up of concentrically arranged minute tubuli, resembling the series which constitute the nucleus of the entire organism. At the base there is a peduncle which probably served for attachment. » (WETHERED E. — *Geol. Mag.*, 1886, Dec. III, vol. III, p. 535).

86. WETHERED E. — loc. cit., pl. XIV, fig. 6.

87. WETHERED E. — *Proceed...* — 1887, vol. IX, p. 77, pl. V.

88. « probably filled with living matter » (WETHERED E. — *Geol. Mag.*, 1886, Dec. III, vol. III, p. 535).

Les tubes de plus grande taille qu'il signale comme apparaissant au niveau de la troisième lame ne sont vraisemblablement que le prolongement des tubes qui leur sont inférieurs mais de diamètre un peu plus fort ; s'ils sont plus nombreux, c'est qu'il y a eu division.

Enfin, le tissu fibreux de nature squelettique n'a pas son analogue dans l'organisme boulonnais et j'ai montré (cf. p. 86) que les interstices intertubulaires sont exclusivement occupés par une fine boue calcaire plus ou moins chargée de menus débris organiques.

2. — En 1888, NICHOLSON [89] décrivait sous l'espèce *Mitcheldeania gregaria* une petite balle d'environ 10 mm de diamètre à surface plus ou moins bossuée et présentant elle aussi deux sortes de tubes : des *tubes « zooïdaux »* et des *tubes « interstitiels »*.

a. — Les premiers, d'un diamètre supérieur à celui des tubes zooïdaux de *Mitcheldeania Nicholsoni* sont aussi moins nombreux. D'après NICHOLSON, leur distribution varie beaucoup suivant les portions observées : en certains points du squelette, ces tubes sont ou contigus ou séparés par une simple rangée de tubes de moindre diamètre — en d'autres points, ils peuvent être absents ou irrégulièrement éparpillés au milieu des petits tubes. Ils communiquent entre eux par de larges ouvertures « uniserially disposed » et présentent de-ci de-là quelques planchers.

Les tubes interstitiels, eux aussi munis de pores, se bifurquent irrégulièrement et s'anastomosent, présentant en section tangentielle l'aspect des canaux coenosarcaux des genres *Allepora* et *Millepora*, et de beaucoup de Stromatoporoïdes.

b. — Sans aucun doute, la description de NICHOLSON rappelle étrangement celle de WETHERED à quelques détails secondaires près et il semble bien qu'on ait affaire à deux organismes très voisins.

Quant au rapprochement de ces *Mitcheldeania* et de l'organisme boulonnais, je ferai les mêmes réserves concernant les tubes interstitiels et la notion de squelette. Le dessin de coupe tangentielle donné par l'auteur sous la lettre G de la figure I [90] pourrait s'interpréter, sinon de l'organisme boulonnais, du moins d'une forme très voisine en supposant que l'élargissement des tubes n'aurait pas lieu pour tous au même niveau ; par contre, les sections verticales dessinées en F et E, et la section transversale reproduite en C sont d'une allure bien différente.

89. NICHOLSON H. A. — cf. *Geol. Mag.*, Dec. III, vol. V, p. 16 sq. et fig. 1.
90. NICHOLSON H. A. — cf. *Geol. Mag.*, Dec. III, vol. V, p. 17.

3. — *Ces divergences sont-elles réelles?, ou sont-elles dues en grande partie à l'interprétation des auteurs?*

M. GARWOOD, revenant sur la question à l'occasion de la description d'un genre nouveau *Ortonella* (1914) [91] ainsi que dans ses trois articles sur les Algues calcaires (1913) [92] donne du genre *Mitcheldeania* une idée qui modifie singulièrement les descriptions de WETHERED et de NICHOLSON, et une photographie [93] qui suggère un rapprochement de ce genre et de l'organisme du Boulonnais ci-dessus décrit.

a. — Dans le second travail, après avoir nié l'existence de pores muraux tant dans les tubes zooïdaux que dans les tubes interstitiels, pores qui seraient d'après lui purement apparents et à interpréter « soit comme des coudes des tubes ondulés à leur sortie du plan de la coupe, soit comme des sections obliques de rameaux au niveau de leur sortie des tubes » [94], il suggère d'écarter *Mitcheldeania* du groupe des Hydrocorallines et de le ranger avec *Solenopora* et d'autres formes semblables sous la rubrique « Algues calcaires ».

Dans le premier, postérieur en date (1914), il remet en question les planchers, les pores muraux qu'il considère toujours comme des sections de tubes ou de branches, enfin l'existence des petits tubes. D'après lui, ces petits tubes interstitiels typiquement présents dans les exemplaires de *Mitcheld. Nicholsoni* et dans beaucoup de grands spécimens de *M. gregaria* sont souvent absents dans les petits nodules de *M. gregaria* qui sont entièrement formés de gros tubes. Il signale en outre la présence fréquente de petits nodules exclusivement formés de petits tubes et pose la question de savoir si les deux sortes de tubes appartiennent nécessairement au même organisme, doute renforcé encore du fait qu'*Ortonella* dans le Westmorland a été trouvé associé à des touffes de fins tubes qui pratiquement ne se peuvent distinguer des tubes fins de *M. gregaria*.

b. — Ces observations et réflexions de M. GARWOOD me sont précieuses parce qu'elles écartent définitivement du genre *Mitcheldeania* les petits tubes interstitiels dont je n'ai pas trouvé l'équivalent dans

91. GARWOOD E. J. — cf. *Geol. Mag.*, Dec. VI, vol. I, p. 267 sq.

92. GARWOOD E. J. — cf. *Geol. Mag.*, Dec. V, vol. X, pp. 440 sq., 490 sq., 545 sq.

93. GARWOOD E. J. — cf. *Geol. Mag.*, Dec. VI, vol. I, pl. XXI, fig. 2.

94. « either elbows in the undulating tubes cut across where they bend away from the plane of the section, or places where a branch is given off from a tube at an angle to the plane of the section » (cf. GARWOOD E. J. — *Geol. Mag.*, Dec. V, vol. X, p. 446).

l'organisme boulonnais, si ressemblant d'allure générale et qui en est totalement dépourvu. Frappant est le fait établi par l'auteur, sur l'examen des matériaux qui ont servi à établir le genre et les espèces types, de leur présence locale et sporadique — deux caractères qui ne conviennent guère, me semble-t-il, à un système canaliculaire coenosarcal et font lever un doute sur l'origine, la nature et l'appartenance réelle à l'organisme en question. A première vue du reste, la photographie donnée par M. GARWOOD suggère l'hypothèse que les petits tubes si différents d'allure des gros tubes sont des touffes étrangères d'un organisme tubulaire qui se serait développé sur *Mitcheldeania*, lui demandant, à tout le moins, un point d'appui.

IV. — QUELLE PLACE SYSTEMATIQUE CONVIENT-IL DE DONNER A CES ORGANISMES?

A. — WETHERED et NICHOLSON faisaient de *Mitcheldeania* un Hydrozoaire appartenant à l'ordre des Hydroïdes ; ils rapprochaient cet organisme, le premier [95] des Tubulariés (Hydractinides), le second [96] des Hydrocorallines. Ils y étaient amenés l'un et l'autre par le double système de tubes, tubes zooïdaux et tubes interstitiels, et par l'allure particulière des tubes interstitiels. Il suffit en effet de jeter un coup d'œil sur les figures A et C de NICHOLSON [97] pour être tenté de rapprocher *Mitcheldeania* des Stromatoporoïdes.

M. GARWOOD [98] s'appuyant d'une part sur le fait de l'absence de pores muraux et de planchers, d'autre part sur le mode d'occurrence et la structure générale suggère de rapprocher *Mitcheldeania* de *Solenopora* et autres formes similaires et d'en faire des Algues calcaires.

B. — Cette assimilation me paraît justifiée ; et la note de BORNEMANN sur les Algues en général et *Zonotrichites* en particulier ne fait que la confirmer. Cet organisme, dont HIRMER a dit qu'il rappelle étrangement *Mitcheldeania* « erinnert stark an Mitcheldeania » [99], me paraît identique et se confondre avec le genre anglais, en tenant compte de ce qui a été dit plus haut touchant les tubes de petit calibre : de part et d'autre, même structure d'ensemble, même allure de l'organisme dans ses débuts et dans la suite de son évolution, même aspect des tubes,

95. WETHERED E. — *Geol. Mag.*, 1886, Dec. III, vol. III, p. 536.
96. NICHOLSON H. A. — *Geol. Mag.*, 1888, Dec. III, vol. V, p. 19.
97. NICHOLSON H. A. — *Geol. Mag.*, 1888, Dec. III, vol. V, p. 17, fig. 1.
98. GARWOOD E. J. — *Geol. Mag.*, Dec. V, vol. X, p. 446.
99. HIRMER M. — Handbuch der Palaeobotanik, 1927, Bd. I, p. 39.

même mode de division. La seule différence, c'est que *Mitcheldeania* est marin, tandis que *Zonotrichites* serait d'eau douce mais les exemples ne sont pas rares de genres présentant des espèces d'eau douce et des espèces marines.

N'ayant pas en main le matériel de comparaison, je me contenterai donc pour l'instant d'insinuer l'identité possible des genres *Mitcheldeania* et *Zonotrichites ;* et laisserai ouverte cette question ainsi que celle de la priorité. Il y aurait en effet plus d'inconvénients à tenter la fusion des deux genres sur des matériaux de comparaison insuffisants, qu'à laisser les deux genres subsister côte à côte.

C. — Le genre *Mitcheldeania* étant plus universellement connu et ayant été l'objet de nombreuses observations et communications, je rattacherai l'organisme boulonnais, décrit dans ce chapitre, au genre *Mitcheldeania* et j'en ferai l'espèce *Mitcheldeania zonata.*

Mitcheldeania zonata n. sp.

Algue calcaire globuleuse, dépourvue de pédoncule d'attache, et formée de tubes verticaux à direction divergente. Ces tubes se multiplient tous au même niveau par dichotomie ; ce caractère joint au fait que les tubes sont alternativement réduits et réguliers, élargis et variqueux, confère à l'ensemble de l'organisme un aspect zonaire très net qui est caractéristique. C'est surtout sur ce dernier caractère que repose la différenciation de cette espèce des espèces déjà connues et nommées.

LUNEL FLEURI DU P 2

Un organisme de microtexture analogue à *Mitcheldeania zonata* se retrouve un peu plus haut dans la portion « fleurie » du Banc Parisien n° 2. Ce « Lunel fleuri » (cf. Pl. X a, la partie supérieure — et X b, les trois quarts inférieurs) d'une épaisseur totale de 25 cm offre deux aspects très différents : une zone inférieure à organismes columnaires, largement espacés au sein d'un calcaire gris brun à grain fin — une zone supérieure littéralement encombrée d'organismes de même type qui se sont développés pêle-mêle les uns à côté des autres et les uns sur les autres.

La zone supérieure retiendra peu mon attention. Elle est en section verticale finement et irrégulièrement mouchetée de gris jaunâtre, de brun clair et de brun foncé, les plages gris-jaunâtre, rares, représentant le remplissage par la vase calcaire des interstices restés libres entre les organismes. A coup sûr, cette zone (cf. Pl. XII, fig. 41 — section horizontale, sur lit de carrière ; et fig. 43 — section verticale, sur front de carrière) est presque exclusivement composée d'organismes bien que l'ensemble soit de texture compacte et floue et qu'on n'observe que de loin en loin une structure zonaire un peu nette. L'observation est encore rendue plus difficile du fait de l'abondance des lignes stylolithiques qui se recoupent en tous sens, morcellent et déchiquettent le sédiment.

L'étude en lame mince n'est guère plus instructive : c'est un mélange désordonné de dépôts en prédominance grumeleux mais parfois aussi de grain plus fin et granuleux ; de larges plages de calcite secondaire accusent par endroits des phénomènes inégalement accentués de dissolution et de destruction des tissus. Seuls quelques petits points clairs circulaires (sections transversales des tubes), quelques vermiculures, quelques tronçons droits simples ou bifurqués éparpillés en tout petits îlots révèlent à l'observateur minutieux et averti la véritable nature du sédiment et la part importante qu'y jouent les Algues du type *Mitcheldeania*.

I. — « LES BOUFFEES DE PIPE » ; LEUR MORPHOLOGIE.

Ce nom un peu singulier me paraît rendre compte à la perfection de l'allure spéciale que prennent les organismes dans la portion inférieure du niveau fleuri du P. 2. (cf. Pl. X, fig. 37, section verticale — et Pl. XIII, fig. 44, section transversale).

Ils s'y présentent sous la forme de colonnes montantes, assez irrégulières, grêles ou largement étalées, simples ou complexes, plus ou moins nettement individualisées et espacées au sein d'une boue calcaire d'un gris brun. Une zonation évidente mais beaucoup moins nette que dans l'espèce précédemment décrite et nommée *Mitcheldeania zonata* se trahit par une alternance irrégulière de tons brun clair et brun foncé. En coupe horizontale et parallèle à la sédimentation, ces colonnes rappellent d'une manière surprenante l'allure du marbre Henriette. Dans les deux marbres, mêmes paraphes concentriques, même alternance de teinte, même coalescence de paraphes en plages étendues et complexes, mais beaucoup plus d'envergure chez l'organisme qui a construit le marbre Henriette.

Fig. 14. — *Mitcheldeania capnostyloïdes* n. sp. (« Bouffées de pipe »), sectionné suivant un plan vertical, et montrant une grande analogie d'allure avec *Mitcheldeania zonata.*

De forme extérieure moins régulière et d'allure zonaire beaucoup moins accentuée, *Mitcheldeania capnostyloïdes* est de conservation précaire. Il ne reste, pour l'ordinaire, de la texture que quelques pinceaux de tubes perdus au sein de plages de calcaire granuleux.

II. — ANATOMIE.

La « bouffée de pipe » est une colonie d'organismes tubulaires qui se développent verticalement en éventail.

A. — Dans ses portions anciennes, elle est dense et le calcaire finement granuleux (cf. Pl. XIII, fig. 46, tiers inférieur). Les tubes, après un court parcours vertical, se bifurquent, bifurcation qui se produit à un niveau approximativement le même pour les différents tubes. Originellement ils sont d'une venue ; mais ils ont été interrompus secondaire-

ment par des plages de calcite de recristallisation (cf. Pl. XIII, fig. 46, plages blanches). En dehors de ces quelques détails, la texture de l'organisme est très confuse : cela tient aux impuretés qui chargent le sédiment, rendent le fond de la roche flou et indécis et empêchent que l'on distingue nettement la lumière du tube de ses parois et ces parois de la boue calcaire interstitielle de remplissage.

B. — Par contre, dans les portions plus récentes de l'organisme, le tissu est beaucoup moins compact et la texture moins dense. Les zones structurées, disposées en arceaux successifs et plus ou moins espacés, sont chargées de granules et de grumeaux, et, à première vue, toute texture organique semble avoir disparu. Mais en y regardant de près, j'ai observé de-ci de-là quelques pinceaux de tubulures, les uns à tubes reconnaissables et conservés, les autres représentés par des hachures à direction verticale (tubes intéressés longitudinalement et obliquement par la section). Quelques-unes de ces tubulures sont en rapport avec de petits corps sphériques qui rappellent à s'y méprendre l'allure des fructifications d'*Udotea* [100].

Les tubes, dans ces portions plus jeunes, sont plus largement espacés, ce qui est peut-être la conséquence d'une croissance plus rapide. Des phénomènes intenses de dissolution et de cristallisation ont périmé la texture organique qui est remplacée par de larges plages de calcite secondaire.

III. — CONCLUSIONS.

A. — Par leur allure générale tubulaire et zonaire, et leur mode d'occurrence, ces « bouffées de pipe » me paraissent devoir être rapprochées de *Mitcheldeania.* Elles en diffèrent toutefois par la taille et le grand développement vertical (6 cm.), et le calibre des tubes qui est beaucoup moindre. Ces deux derniers traits suffiraient à les différencier de l'espèce *Mitcheldeania zonata;* pour ces raisons, pour des raisons de commodité, mais surtout pour fixer leur allure originale, j'ai décidé d'en faire l'espèce *Mitcheldeania capnostyloïdes* nov. sp. [101].

B. — En achevant cette description des « Bouffées de pipe », il me paraît indispensable d'en rapprocher la structure stromatolithique décrite et figurée par M. KALKOWSKY et provenant du Buntsandstein

100. ENGLER A. und PRANTL K. — Die natürlichen Pflanzenfamilien. 1897, I Teil, II Abteilung, p. 143, fig 94.

101. Capnostyloïdes, du grec: ὁ καπνός, οῦ la fumée, et ὁ στῦλος, οῦ la colonne — qui ressemble à une colonne de fumée.

de Schlösschenberg [101bis], — et les « *Récifs en coupole* » du Cambrien de Carteret, figurés par M. BIGOT dans le Bulletin de la Société Linnéenne de Normandie en 1925 (Pl. VI et VII) et brièvement décrits par lui dans le Bulletin Mensuel de la même société dans le numéro 8 de 1929 (p. 69 et suivantes).

Je ne puis affirmer l'identité de l'organisme qui a construit les récifs en coupole avec les « bouffées de pipe », le premier n'ayant conservé que son aspect extérieur, sa texture étant entièrement remplacée par du calcaire granuleux. Je partage par ailleurs la manière de voir du savant professeur et considère son organisme B représenté dans les figures 15 et 16 de la planche VII comme une manière d'être spéciale de l'organisme A figuré à la planche VI.

Un autre rapprochement s'impose : celui des récifs construits par les Algues, décrits par M. WILMOT H. BRADLEY et figurés par lui dans sa pl. 42 (B) [101ter]. Mais ici, la même question insoluble se pose : Y a-t-il identité des deux organismes? ou simplement analogie de structure, d'aspect extérieur?

101 *bis*. KALKOWSKY E. — Oolith und stromatolith in norddeutschen Buntsandstein. *Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesell.*, 1908, pp. 106 et 107, pl. VIII.

101 *ter*. BRADLEY W. H. — Algae reefs and oolites of the Green River formation. — U. S. geol. Survey, Prof. Paper 154-G, 1929.

CHAPITRE VIII.

MARBRE «NAPOLÉON GRAND MÉLANGE»

Le marbre Napoléon Grand Mélange est, dans son ensemble, un sédiment de facies bréchique ; la dénomination de « *Grand Mélange* » lui a été donnée en raison de la diversité des aspects que présente la formation. Son épaisseur varie entre 4 et 5 mètres, et comprend, en ordre normal, les successions suivantes:

3. — A la partie supérieure, les *gra'mères.* Organismes développés en forme de lames et rappelant les Pattes d'Alouettes ..... 1 m. 00 environ.
2. — *Brèche d'organismes,* — en gros fragments désorientés et culbutés ..... 2 m. 00 environ.
1. — *Brèche* claire à fragments anguleux, *de calcaires rubanés* — que l'on retrouve conservés à divers niveaux ..... 1 m. 60 environ.

Il n'y a pas lieu, me semble-t-il, de séparer la portion supérieure 3 qui est exclusivement organique, des deux autres qui sont plus ou moins bréchiques ; les trois facies détaillés dans le tableau ci-dessus forment en effet un tout massif sans solution de continuité et il y aurait par ailleurs plus d'inconvénients que d'avantages à abandonner ou à modifier la nomenclature adoptée par les exploitants et passée dans le commerce.

I. — BRECHE DE CALCAIRES RUBANES.

La formation de base est une brèche claire à éléments gris-blanc prédominants et à fond grisâtre ; ses éléments sont de forme cubique plus ou moins régulière ou se présentent en plaquettes rectangulaires (cf. Pl. XIII, fig. 47). Les fragments gris-blanc sont, soit de teinte unie

et de facies grumeleux, soit constitués par des zones alternativement plus claires et plus foncées, donc de calcaire zonaire. Les fragments foncés (brun foncé et noirs), beaucoup moins nombreux et plus petits de taille, sont de facies analogues et semblent provenir de la destruction de rubanés plus minces.

La brèche varie beaucoup d'allure et d'épaisseur suivant la dimension de ses fragments : en certains points, elle est très fine, si fine que son grain est malaisé à discerner, — en d'autres points, j'ai relevé sur front de carrière des fragments qui mesuraient 8, 10, 30 cm. de longueur ou de largeur, sur 5, 8 et 15 cm. d'épaisseur.

Un fait assez constant que j'ai observé dans la carrière de la Société des Marbres du Boulonnais (anciennement carrière Poulain), mais qui est surtout frappant dans la formation analogue des environs de Namur (Rochers des Grands Malades) c'est la persistance, à divers niveaux de cette formation bréchique, de calcaires rubanés. L'un d'eux entre autres s'observe tout à fait à la base de la formation : il y est continu sur une certaine étendue et régulier, plus ou moins ondulé ou même affecté de petits plissements. En deux points cependant il est interrompu soit que les rubans simplement morcelés aient gardé leur direction et leur position horizontale, soit qu'ils aient été bouleversés et leurs fragments irrégulièrement enchevêtrés.

De petites veinules de couleur lie de vin sillonnent le sédiment et accentuent d'autant son aspect morcelé ; mais il est, dans l'ensemble, très compact et cette compacité résulte du fait que les fragments étroitement entassés arrivent au contact les uns des autres ou bien que leurs interstices ont été comblés au fur et à mesure par une vase très ténue.

Dans l'ensemble donc, cette formation inférieure du Napoléon Grand Mélange est une brèche formée sur place aux dépens de calcaires rubanés dont on retrouve de-ci de-là, à différents niveaux, des lambeaux-témoins plus ou moins importants.

II. — BRECHE D'ORGANISMES.

Un peu plus haut, la brèche change : ses fragments à contours arrondis sont d'une nature très différente et proviennent, à n'en pas douter, de la destruction d'organismes du type Pattes d'Alouettes. Ils sont grisâtres et soulignés sur tout leur pourtour par un cerne de calcaire brun foncé qui contribue à leur donner du relief ; ils sont arc-boutés les uns contre les autres et laissent entre eux de larges interstices

comblés par une fine vase calcaire d'un gris blanchâtre, d'un brun clair et d'un brun foncé et dans lesquels la calcite a largement cristallisé (cf. Pl. XIII, fig. 45).

En d'autres points, la brèche est plus fine et montre, à côté de fragments de calcaire gris de texture compacte ou subcompacte et de nature indiscernable, de petits fragments où s'observent des ampoules et des bâtonnets analogues à ceux que j'ai décrits dans le marbre « Pattes d'Alouettes ».

Le caractère organique de cette brèche est donc nettement accusé ; il s'accentue encore plus haut, où les fragments, de très grande taille (30 cm de long et plus), sont constitués par des organismes laminaires plus ou moins voisins des *Corydopodium,* à texture conservée et qui ont été dérangés de leur position normale, déviés ou même renversés. Ces organismes se présentent sous forme de flammes arborescentes dressées verticalement et qui semblent s'insérer sur une partie basale simplement sinueuse, ou disposée en festons ou encore affectant la forme d'accents circonflexes plus ou moins aigus.

Il semble que l'on ait affaire à des organismes en place, et bouleversés sur l'emplacement même où ils se sont développés. Le fait que leurs angles sont légèrement arrondis s'explique par la fragilité même du tissu de ces organismes et par leur peu de compacité ; point n'est besoin, me semble-t-il, de faire appel à un transport, si faible soit-il.

III. — NIVEAU ORGANIQUE SUPERIEUR ; LES GRA'MERES.

La portion tout à fait supérieure qui mesure 1 m 50 environ d'épaisseur comprend un niveau organique surmonté d'un rubané.

Le niveau organique est constitué sur 1 m. environ d'épaisseur par la superposition d'organismes laminaires qui rappellent les *Corydopodium.* Les espaces laissés libres entre les lames arborescentes sont remplis par un sédiment calcaire fin, au sein duquel de loin en loin s'observent des amas de petits Brachiopodes à profil ovalaire.

Dans le haut s'observe un rubané grisâtre dû à des dépôts successifs de grumeaux. Ce rubané varie beaucoup d'épaisseur (de 15 à 60 cm.) suivant qu'il est interrompu ou non par des efflorescences de nature organique auxquelles, en carrière, on a donné les noms étranges de *gra'mères* ou de *mam'zelles,* et dont je dirai quelques mots.

Ces noms sont justifiés par les allures bizarres que présentent sur front de carrière ces efflorescences : avec beaucoup d'imagination, on peut en effet reconnaître chez certaines d'entre elles des figurines,

des caricatures de visages humains coiffés d'un panache blanc ou de chapeaux à fleurs à l'ancienne mode (cf. Pl. XIV, fig. 48, quart supérieur d'un de ces organismes).

A. — Morphologie.

Ces gra'mères qui ne dépassent guère 30 cm. en hauteur peuvent présenter une très grande extension horizontale (2 m.). Elles sont limitées vers l'extérieur au contact du sédiment vaseux par une zone blanche opaque, et creusées, à leur surface supérieure, de profondes échancrures dans lesquelles la boue calcaire s'est déposée sous forme d'un rubané fin plus ou moins net (cf. Pl. XIV, fig. 48). L'intérieur, sur front de carrière, se décompose en une série de colonnes montantes à axe apparemment dépourvu de structure, et entouré d'un manchon finement structuré. Ces colonnes devaient être très capricieuses d'allure, car, en règle générale, les coupes frontales ne les intéressent que sur un léger parcours. Il n'est pas rare de rencontrer, au milieu des colonnes

Fig. 15. — *Stylocodium rhopaloïdes* nov. gen. (« Gra'mère »), représenté en place, aux trois quarts enseveli dans la vase calcaire (portion mouchetée de blanc et de noir), et continuant à croître par sa partie supérieure profondément échancrée. A l'arrière-plan, en noir, deux formes du même type.

et en plein organisme, des coquilles isolées de Brachiopodes et de Gastéropodes, des fragments d'Echinodermes, des radioles d'Oursins, des Ostracodes, quelques Foraminifères du type *Trochammina* et *Archaediscus ;* j'ai même observé plusieurs fois, dans les interstices intercolumnaires, de petites plages encombrées d'Ostracodes. Des phénomènes intenses de dissolution et de recristallisation ont donné naissance en

général à de larges plages de calcite hyaline largement cristallisée, parfois aussi à de la calcite très finement cristallisée qui rappelle le calcaire granuleux (cf. Pl. XIV, fig. 49 coupe verticale et 50 coupe horizontale).

B. — Anatomie.

1. — En lame mince et en section transversale, la colonne montre trois zones très nettes et de textures différentes : la portion centrale (de teinte brune et de structure inapparente sur le marbre poli) se présente sous l'aspect d'une plage dépolie à texture plus ou moins périmée. Dans les cas particulièrement favorables, le schéma seul de la texture primitive est conservé sous forme de boyaux, dont l'allure est vaguement concentrique (cf. Pl. XV, fig. 53 et 54).

Cette structure concentrique est beaucoup plus nette dans les portions intermédiaires, plus granuleuses (liserés blanchâtres continus sur le marbre poli) et plus denses ; les tubes, à lumière remplie de calcite hyaline et à parois granuleuses, y sont bien individualisés ; leurs ondulations plus ou moins accentuées permettent de suivre leur parcours sur une plus ou moins grande longueur.

Vers l'extérieur enfin, la texture redevient confuse : plus de lumières nettes, plus de parois nettement délimitées mais une plage granuleuse parcourue par de minces filets noirs régulièrement ondulés et qui, à n'en pas douter, représentent des tubes de beaucoup moindre calibre. Ces plages granuleuses régulièrement interrompues se présentent sur le marbre poli sous forme d'une dentelle d'un blanc jaunâtre ; en coupe longitudinale, elles apparaissent finement découpées. Cette troisième et dernière zone est très inégalement développée non seulement dans les différentes colonnes mais encore suivant les points de la surface d'une même colonne (cf. Pl. XV, fig. 53 et 54).

Un autre détail que les coupes transversales mettent bien en relief c'est l'existence, à côté de colonnes simples, de colonnes complexes montrant deux, trois centres d'accroissement (cf. Pl. XV, fig 54). Que ces excroissances locales soient originelles ou que la complexité résulte de la coalescence de plusieurs colonnes simples voisines, il n'en reste pas moins vrai que l'organisme montre une tendance très nette à l'inégalité de croissance sur les différents points de sa surface. Une couche continue de calcite orientée incruste la surface externe des colonnes montantes.

Cette croûte est formée de la juxtaposition de prismes plus ou moins allongés ; ces prismes qui sont développés de la surface organique

vers l'extérieur ont pu, dans le cas d'intervalles intercolumnaires réduits, arriver au contact. Lorsque les vides laissés entre les colonnes sont vastes, la zone prismatique se présente sous la forme d'un liseré et un phénomène de cristallisation ultérieure a donné naissance à une plage hyaline de calcite en large mosaïque.

2. — L'irrégularité d'allure déjà frappante en section transversale s'accentue encore en coupe longitudinale : bien que les colonnes montantes se présentent sous forme fragmentée ou hachée (cf. Pl. XIV, fig 49, au centre), j'ai gardé de l'étude microscopique et des allures successives de l'organisme, l'impression que, si les colonnes ne sont pas continues et d'une venue, néanmoins leur développement vertical est très important. Si elles sont morcelées et si variées de texture, cela peut tenir sans doute à une orientation trop oblique de la section (l'orientation d'une section étant toujours une opération très délicate), mais cela tient aussi, et surtout, à l'inégalité de développement de l'organisme dans le sens horizontal, au fait qu'il se rétrécit ou au contraire s'étend en largeur, d'où il s'ensuit qu'une coupe de front ou verticale puisse l'intéresser successivement dans ses différentes zones centrale et périmée, ou intermédiaire et tubuleuse, ou enfin superficielle et granuleuse.

C. — Classification et affinités.

Les gra'mères se présentent sous forme d'îlots plus ou moins épais (20 à 30 cm.) et plus ou moins étendus (j'en ai mesuré qui avaient 2 m. d'envergure sur front de carrière) au sein d'une vase calcaire de texture grumeleuse. Ces îlots sont formés par la juxtaposition d'organismes du type Henriette au milieu desquels ou aux dépens desquels vivaient les nombreux Ostracodes et Brachiopodes qui s'y retrouvent aujourd'hui enchâssés.

Bien que l'organisme ici décrit ne présente pas l'alternance nette de petits tubes et de gros tubes observés et décrits chez *Polymorphocodium Lapparenti*, de nombreux détails de texture imposent ce rapprochement. Ce sont : la microtexture générale à zones dépolies et périmées, ou chargées de vermiculures en accents circonflexes et de tubes ondulés plus ou moins étendus, — la présence de tubes dilatés en boyaux noueux et de médusoïdes, — l'allure particulière des tubes en surface, — et enfin la formation, en certains points, de sphères analogues à celle que j'ai décrite chez *Polymorphocodium Lapparenti*.

Les gra'mères sont donc le vestige d'une formation récifale discontinue, provoquée par l'entassement local d'Algues calcaires du type

Polymorphocodium. Comme en témoignent les lames elles-mêmes et surtout les sections longitudinales et transversales en surface polie, de nombreux organismes, Céphalopodes, Gastéropodes, Brachiopodes et Ostracodes (ces deux derniers groupes à nombreux individus entassés en petits nids) vivaient au milieu de ces Algues calcaires. Ils se nourrissaient vraisemblablement, non pas de ces Algues calcaires elles-mêmes, mais d'autres végétaux de même groupe non calcifiés et qui, pour cette raison, n'ont rien laissé d'eux-mêmes.

Ce dernier détail fait bien ressortir le *caractère colonial de l'organisme ;* et l'on est en droit de se demander s'il ne constituerait pas une colonie de *Polymorphocodium.*

Toutefois, par commodité et provisoirement, vu son allure d'ensemble très spéciale, je nommerai l'ensemble *Stylocodium rhopaloïdes.*

Genre *Stylocodium* nov.

Stylocodium rhopaloïdes nov. sp. [102]

Algue appartenant vraisemblablement à la famille des Codiacées, en colonnes dressées affectant la forme de massues. Elle est entièrement constituée de tubes verticaux, de plus fort calibre et à course irrégulière au centre (portion columellaire), régulièrement ondulés et de plus petit calibre en surface où ils disparaissent souvent sous des amas de calcaire granuleux. Même texture d'ensemble que chez *Polymorphocodium ;* on y observe en outre des ampoules analogues à celles de *Polym. Lapparenti,* et des corps sphériques (cf. Pl. IV, fig. 13 et 14 ; et XIV, fig 50) qui se peuvent rapporter sans hésitation à ceux de *Polym. Lapparenti.*

IV. — « NAPOLEON GRAND MELANGE » ET « GRANDE BRECHE » DU CALCAIRE CARBONIFERE BELGE.

Une formation de même caractère que le Napoléon Grand Mélange, de même facies, de même texture, de même niveau stratigraphique que lui se retrouve sur la bordure septentrionale du bassin de Namur ; c'est

102. Du grec: ὁ στῦλος, ου la colonne, et τὸ ῥόπαλον, ου la massue — en forme de massue.

la « *Grande Brèche* » exploitée près de Namur aux carrières de Saint-Nicolas et des « Grands Malades » [102bis].

Dans ses « Recherches sur le Calcaire carbonifère de la Belgique », M. DELEPINE a décrit dans le détail (p. 93 sq. et passim) et interprété (p. 275 sq.) cette formation. Il insiste sur son aspect massif, sa structure complexe et sur la texture compacte ou zonaire de ses éléments dont certains sont allongés « comme s'ils étaient les produits de la fragmentation de bancs relativement minces » [103] ; c'est l'équivalent de ce que j'ai appelé plus haut « *Brèche de calcaires rubanés* » et plus particulièrement de la variété « *Bâtons rompus* ». Il signale en Belgique la superposition de plusieurs séries bréchoïdes « séparées les unes des autres par des bancs de calcaire zonaire régulièrement stratifiés (Saint-Nicolas, Namèche) » [104], dont j'ai montré l'équivalent dans ma description du Grand Mélange ; au sein de ces brèches se rencontrent des lentilles oolithiques et des amas de petits Brachiopodes que M. DELEPINE rapporte aux genres *Dielasma* et *Seminula*. D'après le savant auteur, « les parties ayant la structure proprement bréchoïde — brèche à éléments menus, ou bien à gros blocs anguleux — diminuent d'importance à mesure qu'on avance vers l'est, une fois qu'on a dépassé Namur » [105].

La « *Grande Brèche* », aux environs de Namur, repose immédiatement sur les calcaires noirs avec lignes de silex qui forment le sommet de la zone à *Productus Cora ;* elle y présente une puissance de 20 à 25 m. Or, dans le Boulonnais, le « *Napoléon Grand Mélange* » ne dépasse pas 5 m., y compris le niveau organique qui couronne cette formation.

Tableau comparatif des facies et des épaisseurs à Namur et Hydrequent :

Namur	Boulonnais
Grande Brèche (20 à 25 m.).	Napoléon Grand Mélange (4 à 5 m.).
Calcaires noirs phtaniteux (12 m.).	Calc. rubané de texture grumeleuse.
Calcaire bleu grenu à *Productus cora* (épaisseur?).	Marbre Lunel (25 m.).

Une diminution d'épaisseur analogue à celle qui se fait sentir vers l'est, s'observe donc aussi à l'ouest, mais les facies oolithiques qui prédominent dans la portion orientale du bassin de Namur sont remplacés

102*bis*. Ce n'est pas le seul gisement de Grande Brèche, mais c'est le seul que j'ai étudié en détail.

103. DELEPINE G. — Recherches sur le Calcaire carbonifère de la Belgique 1911, p. 276, 3.

104. DELEPINE G. — ibid., p. 277, 4.

105. DELEPINE G. —ibid., p. 277, 7.

par les organismes laminaires de la portion supérieure du Grand Mélange et par les Pattes d'Alouettes dont j'ai retrouvé l'équivalent au ciel de la partie orientale dans la carrière des Grands Malades.

Pour M. DELEPINE, la Grande Brèche est une formation d'accumulation rapide et « résulte d'un simple remaniement des dépôts qui s'effectuaient au milieu d'eaux très agitées » [106], agitation due à des mouvements du sol et en rapport possible avec une transgression marine en direction du nord et du nord-est.

« Quant aux conditions si spéciales du milieu où s'est formée la « Grande Brèche », et à l'agitation des eaux qu'elle suppose, on peut émettre l'hypothèse qu'elles sont dues à une transgression vers le N.-E., dans la direction de Visé ; cette explication nous est suggérée par le fait général bien connu de la progression de la mer vers le nord et vers le nord-est, depuis le milieu du Dévonien jusqu'au Houiller — et par le fait que les calcaires de Visé paraissent appartenir exclusivement à l'époque qui suit immédiatement celle de la « Grande Brèche » du bassin de Namur » [107].

Il me suffira d'avoir établi et accentué le rapprochement des deux formations boulonnaise et belge. A quoi bon m'étendre davantage sur une formation au sujet de laquelle, au dire de M. KAISIN, l'accord est établi entre savants.

« Actuellement, tout le monde considère la brèche massive à pâte grise comme un sédiment détritique d'origine marine, disposé en bancs exceptionnellement épais et régulièrement interstratifiés dans les calcaires de l'étage viséen supérieur. La découverte de lits de fossiles, faite dans cette brèche par M. DELEPINE n'a pas peu contribué à réaliser cet accord » [108].

106. DELEPINE G. — Recherches... — 1911, p. 277.
107. DELEPINE G. — ibid., p. 278.
108. KAISIN F. — Brèches dinantiennes de Belgique — *Congrès géolog. intern. Brux.*, 1922, XIII[e] session, 3[e] fascicule, p. 1274.

CHAPITRE IX.

MARBRE JOINVILLE ET MARBRE NOIR DE RÉTY.

MARBRE JOINVILLE.

I. — Position stratigraphique.

Le marbre Joinville appartient au Calcaire carbonifère supérieur et à la zone à *Productus giganteus*. Il n'est plus actuellement exploité ; mais un lambeau-témoin existe encore dans le haut de la carrière de la Société des Marbres du Boulonnais sous le « Banc Rouge » et le « Banc de 50 » [109] qui en constituent le ciel. Sur la paroi opposée de la carrière qui limite en direction NNO-SSE le chantier de taille, il n'est plus visible car le « Banc Rouge » est là à l'affleurement, au pied de l'échafaudage qui supporte une voie de décharge.

Le banc qui fournit le marbre Joinville a une puissance approximative de 1 m. 25 à 1 m. 40 ; il est supporté par 8 mètres de petits bancs à la base desquels j'ai rencontré un naissain de petits Mollusques dont il sera question plus loin dans la seconde partie de ce travail (Ch. V.)

II. — Description.

C'est un marbre clair à taches foncées irrégulières d'allure, parcouru en tous sens par des lignes stylolithiques de couleur rouge sang de bœuf ou de nuance lie de vin ; il semble que l'oxyde de fer qui souligne les denticules stylolithiques se soit répandu dans tout le sédiment qui présente une tonalité rosée ou mauve clair (cf. Pl. XV, fig. 55).

109. Banc de 50,250 , 160..., dénominations par lesquelles les exploitants désignent des bancs d'une épaisseur de 50 cm., 2 m 50, 1 m 60 etc...

III. — Facies.

De prime abord, au souvenir du marbre Henriette et des Lunels fleuris de la Vallée Heureuse dont il se rapproche par son allure générale en section horizontale, l'idée qui se présente à l'esprit est celle d'organismes à texture périmée. Mais cette hypothèse ne résiste pas à l'examen en lame mince.

Le marbre Joinville rentre dans la catégorie des calcaires grenus à grain fin : sur un fond assez abondamment chargé de granules se dessinent en taches plus claires d'innombrables fragments organiques de petite taille. Les plus abondants sont des fragments d'Echinodermes parmi lesquels s'observent des entroques ; il faut citer en outre des Foraminifères représentés par les genres *Endothyra, Archaediscus, Trochammina,* — des Bryozoaires en débris de petite taille, — des sphères nombreuses et de types divers, entre autres les typiques Granulosphères si fréquentes dans les sédiments carbonifères, et les « médusoïdes ». Il convient d'ajouter à cette liste quelques esquilles d'Ostracodes à test mince ou épais — et des fragments de petits Tabulés ; comme Brachiopodes, pas de fragments de coquilles mais des sections d'épines (cf. Pl. XV, fig. 56).

Les organismes sont très nombreux mais ils sont en fragments de petite taille et le véritable caractère de « calcaire d'organismes » ne se révèle souvent qu'en lame mince. La faune est banale à deux exceptions près : les Foraminifères du type *Archaediscus* sont ici plus abondants que dans les sédiments inférieurs, et il faudrait en dire autant des Bryozoaires que je n'ai rencontrés jusqu'ici qu'à titre exceptionnel dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais.

IV. — Interprétation des mouchetures.

Comment expliquer enfin l'aspect moucheté du calcaire et ses grandes taches irrégulières?

A. — La coloration serait-elle due à l'oxyde de fer qui serait passé par filtration des stylolithes dans la vase calcaire?

Pourquoi dès lors cette répartition, vu que les stylolithes traversent indistinctement les plages claires et les plages sombres.

B. — L'inégalité dans la consolidation du sédiment ne me paraît pas davantage pouvoir être invoquée.

Comment l'expliquer? Comment expliquer l'irrégularité des taches qu'elle aurait provoquées.

C. — La distinction des plages claires et des plages foncées ne reposerait-elle pas simplement sur une *variation du grain du sédiment*, sur une variation dans la proportion de l'élément granuleux du fond. Je ne nie pas la possibilité d'une coloration, d'ailleurs légère, par l'oxyde de fer ; mais, pour moi, ce serait là un phénomène accessoire.

Cette dernière interprétation se base sur deux faits bien connus :

1. — L'aspect blanchâtre que prend sur marbre poli le calcaire granuleux ; par contre, l'aspect plus sombre que présentent les surfaces à grain plus largement cristallisé.

2. — En lame mince, le calcaire granuleux intercepte plus ou moins la lumière et prend un aspect dépoli et grisâtre (sous faible épaisseur) ou devient opaque et d'un noir profond, comme c'est le cas pour la paroi des Granulosphères ; cela tient au fait que la lumière tombant sur les menus cristaux qui le constituent est plus ou moins complètement réfléchie.

La distinction de plages claires et de taches foncées, très nette sur le marbre poli, devient imperceptible en lame mince en raison même de la minceur de la lame.

APPENDICE.

MARBRE NOIR DE RETY.

Le marbre noir de Réty est, de tous les marbres carbonifères qui ont été exploités dans le Boulonnais, le plus élevé de la série stratigraphique. Il appartient à la zone à *Productus latissimus*.

Je n'en dirai rien, car, du point de vue micrographique, il ne diffère guère du marbre Joinville ; c'est un calcaire sombre, de texture grenue, et crinoïdique.

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE DES ORGANISMES.

Dans ma première partie, j'ai traité les seuls sédiments viséens exploités comme marbres et je me suis attaché à en décrire dans le détail les organismes essentiels et à en définir les facies. J'ai donc laissé de côté, de parti pris et pour des raisons de plus grande clarté dans l'exposition, les organismes et les sédiments qui, tout en étant associés aux marbres, n'entraient pas directement dans leur constitution. A ces organismes et à ces sédiments j'ai réservé la deuxième et la troisième partie de ce travail. Ainsi sera complétée, du point de vue pétrographique, l'étude du Calcaire carbonifère du Boulonnais.

Restant dans mon rôle et ma spécialité de pétrographe, j'ai laissé toute préoccupation d'étude paléontologique pour ne m'attacher qu'à la microstructure et à la microtexture de ceux de ces organismes qui s'y rencontrent avec quelque fréquence.

C'est ainsi qu'après avoir traité dans les chapitres I et II la microfaune des calcaires, faune des calcaires à grain fin et en particulier du type «Lunel uni» — faune caractéristique des sédiments fins (gangue) qui, dans certains marbres, comblent les interstices laissés libres entre les organismes ou les portions de leur thalle (v. g. marbre Henriette), je passerai en revue ceux des groupes zoologiques qui me paraissent présenter un intérêt particulier.

Je terminerai cette deuxième partie par un court chapitre (Ch. VIII) consacré aux Algues calcaires dont j'ai fait l'étude détaillée dans ma première partie.

CHAPITRE PREMIER

FORAMINIFÈRES.

Les Foraminifères sont bien représentés dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais, non pas tant par la multiplicité des genres et des espèces que par le nombre des individus qui entrent, pour une part prépondérante, dans la constitution de certains facies (*Calcaires de Foraminifères*, cf. Pl. XVI, fig. 57). Le premier fait qui retient l'attention quand on étudie en lames minces un de ces calcaires, c'est l'aspect uniforme que présentent les Foraminifères. Ils appartiennent presque exclusivement au groupe des Foraminifères «granuleux» [110] ; une seule forme s'y rencontre assez abondante, dont le test est « hyalin », c'est le genre *Archaediscus*.

I. — PRINCIPAUX TYPES.

A. — Foraminifères granuleux.

Les Foraminifères granuleux sont représentés, dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais, par des formes monothalames, à tube dépourvu de cloisons, droit ou enroulé sur lui-même, et par des formes polythalames à loges successives enroulées en spirale à la manière des Rotalidées (*Endothyra*), ou agencées en séries linéaires et alternantes suivant le type Textilaire.

Voyons successivement ces différents types et commençons par le genre *Endothyra*, le mieux représenté dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais.

110. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — Masson, 1923, pp. 265 sq., 269, 287 et 355.

1. — Le genre Endothyra.

Le genre *Endothyra*[111], défini par PHILLIPS, englobe des formes libres, à chambres nombreuses enroulées en une spirale plus ou moins dissymétrique. L'ouverture qui fait communiquer la dernière chambre avec l'extérieur est simple ; elle est située au bord interne du segment terminal au voisinage immédiat du tour de spire précédent et s'observe en règle générale dans les sections parallèles au plan d'enroulement (cf. Pl. XVI, fig. 57, 58, 61 et 62 — et Pl. XVII, fig. 66).

Les individus qui présentent ces caractères sont très nombreux ; il en est de très dissymétriques et il en est qui le sont moins. A côté de formes globuleuses et nautiloïdes, il est des formes discoïdes en disques plus ou moins biconvexes, en disques aplatis ou même biconcaves. Elles ont été décrites par BRADY[112] et MOELLER[113].

Mon désir était de tenter dans ce chapitre un essai paléontologique ; j'aurais voulu préciser spécifiquement les différentes sections des espèces les plus répandues, comblant ainsi la lacune que laissent derrière eux ces ouvrages d'une valeur scientifique d'ailleurs incontestable. Après bien des efforts, j'ai dû y renoncer et je ne crois pas qu'il soit possible, avec le matériel dont je dispose, d'arriver à une précision scientifique satisfaisante. Il faudrait, pour le faire, entreprendre l'étude systématique d'espèces bien définies, d'espèces-types, les déterminer et les étudier en sections. Les calcaires boulonnais sont trop homogènes pour se prêter à pareils essais.

En ce qui concerne les formes globuleuses, les seules sections qui se puissent définir sans témérité en lame mince sont les sections typiques d'*Endothyra Bowmani ;* cela tient à l'ensemble des caractères très particuliers à cette espèce: dissymétrie souvent très accusée, petit nombre de tours de spire (ordinairement 2 ou 3) contrastant avec la taille relativement grande des individus (0 mm. 6 à 1 mm. 3), segments globuleux

111. *Endothyra* a été interprété jusqu'ici comme une forme caractéristique du Calcaire carbonifère ; et l'intéressant travail de M. MILON sur les calcaires paléozoïques de Bretagne et leur microfaune semblait apporter un argument de plus. Récemment, Mlle D. LE MAITRE signale sa présence dans les calcaires dévoniens de Bartine (Turquie) où « il y paraît abondant déjà vers le milieu du Dévonien ». cf. *Ann. Soc. géol. Nord,* 1929, t. LV, p. 45 sq.

112. BRADY H. B. — A monograph of carboniferous and permian Foraminifera. — *Palaeontographical Soc.,* London, 1876, p. 90 à 102.

113. VON MŒLLER VAL. — Die spiral-gewundenen Foraminiferen des Russischen Kohlenkalks. — *Mém. Ac. Imp. Sc. St-Pétersb.,* 1878, p. 89 à 102 ; 1880, p. 12 à 21.

séparés par des dépressions septales très accusées, la taille de ces segments s'accroissant rapidement (cf. Pl. XVI, fig. 58). BRADY, à la fin de sa Monographie des Foraminifères carbonifères et permiens reproduit un magnifique calcaire d'*Endothyra Bowmani* provenant du Comté de Stafford.

Fig. 16. — Quelques sections d'*Endothyra,* montrant, à côté d'espèces à enroulement parfaitement régulier, des formes nettement dissymétriques.

Parmi les formes discoïdes en disque plat biconcave, je me bornerai à signaler *Endothyra ammonoïdes* en raison de son allure d'ensemble nettement caractéristique. Les tours de spire nombreux et étroits sont développés dans un même plan et donnent naissance à une forme symétrique légèrement biconcave due à l'accroissement faible et continu

des loges dans les tours de spire successifs (cf. Pl. XVI, fig. 62, section de gauche). L'espèce que je figure est de toute évidence du type de celle figurée par BRADY [114] ; mais cette coupe qu'il propose comme section d'*E. ammonoïdes* ne correspond pas à la vue d'ensemble qu'il en donne aux figures 5 et 6 de la planche V ni au diagnostic qu'il donne de l'espèce (p. 94) et que je reproduis intégralement:

«Test libre, en forme de disque aplati ou légèrement biconcave, de symétrie bilatérale presque parfaite, à tours nombreux (8, 10 ou plus) enroulés en spirale dans un plan. Les tours sont étroits, réguliers, légèrement embrassants ; ils s'élargissent progressivement. Segments très nombreux, quelque peu obliques. Les septa, qui, chez les jeunes, sont marqués par des lignes légèrement excavées, se montrent, chez l'adulte, sous forme de larges bandes, très nettes, munies d'une frange plus ou moins accentuée. Test arrondi à sa périphérie, granuleux ; ouverture distincte, de petite taille. Diamètre de 0 mm. 5 [115].

La forme figurée en section à la planche XII n'a rien de comparable, à mon avis, avec celle de la planche V. Dans cette dernière, malgré une différence de taille qu'il ne faut pas négliger, les tours de spire sont plus bas et beaucoup plus nombreux.

2. — Le genre Ammodiscus.

Après les *Endothyra*, les seules formes un peu répandues appartiennent au genre *Ammodiscus*, Reuss. Schématiquement, il est constitué par un tube plus ou moins coudé ou enroulé sur lui-même, mais dépourvu de toute segmentation (cloisons ou étranglements) [116]. C'est donc un type strictement monothalame (cf. Pl. XVI, fig. 57, 59 et 63).

114. BRADY. — op. cit., pl. XII, fig. 5 (au centre de la préparation).

115. «Test free, discoidal, complanate or slightly biconcave, nearly symmetrical bilaterally ; composed of several (8, 10, or more) convolutions of a spiral line of chambers in one plane. Convolutions narrow, increasing gradually in width ; regular, slightly embracing. Segments very numerous, somewhat oblique. Septa, marked in young shells by slightly excavated lines, and in larger specimens by conspicuous, broad, more or less limbate bands. Periphery rounded. Surface granular. Aperture small, distinct. Diameter 1/50 inch (0 mm 5) » cf. BRADY. — op. cit., p. 94.

116. BRADY dans sa Monographie des Foraminifères carbonifères et permiens (1876) classait tous ces tubes dans le genre *Trochammina* cf. pp. 69 à 82, pl. II, fig. 10 à 20 et III, fig. 1 à 16. — Quelques années plus tard (1884), dans son rapport sur les Voy. du Challenger, il distinguait nettement les *Trochammina* (segmentés) des *Ammodiscus:* « the generic term *Trochammina* in its restricted sense is employed for all whether they are bilateraly symmetrical..., rotaliform..., trochoid..., or altogether irregular... (p. 336, 337).

Suivant l'allure du tube et son mode d'enroulement, on reconnaîtra aisément, dans les calcaires, des formes en tube droit ou légèrement courbé, de diamètre croissant (*Ammod. filum*, cf. Pl. XVI, fig. 57) — des formes enroulées en nœud gordien, en peloton irrégulier (*Ammod. gordialis*, cf. Pl. XVII, fig. 63) — des formes enroulées mais allongées et en câble tordu — des formes enfin à petit peloton central auquel succèdent des tours plus ou moins nombreux et réguliers et qu'on serait tenté de rapporter à l'espèce *Amm. incertus* (cf. Pl. XVI, fig. 59), malgré le petit peloton central qui ne s'observe pas toujours très aisément et dont la direction est normale sur celle des tours qui lui succèdent.

Fig. 17. — *Ammodiscus*, vu en coupe perpendiculaire à l'enroulement.
Foraminifère à test granuleux, constitué par un tube non cloisonné, enroulé sur lui-même. Le tube, irrégulièrement enroulé et pelotonné sur lui-même à ses débuts, régularise ensuite sa marche et montre un enroulement symétrique.

Parmi ces formes, la dernière pourra dans certains cas, notamment en coupe perpendiculaire au plan d'enroulement, se distinguer malaisément de certaines formes en disque aplati d'*Endothyra*. Deux caractères cependant permettent d'une façon ordinaire de dirimer le problème : les tronçons du tube sans cloisons qui constituent le peloton central, et leur mode de pelotonnement, très différent de l'enroulement en spirale régulière des premières chambres, même chez les espèces les plus dissymétriques du genre *Endothyra*.

3. — Les Textilaridae.

Les *Textilaridae* que j'ai rencontrés beaucoup moins fréquemment que les *Endothyra* et les *Ammodiscus* sont constitués par deux séries linéaires de loges qui alternent et qu'on peut considérer comme développées en hélice à 180 degrés l'une de l'autre.

Ce sont, pour l'ordinaire, des formes courtes et trapues ; les loges augmentent rapidement de taille et sont surbaissées. L'ouverture, simple, est située sur la ligne médiane qui sépare les deux rangées de loges ; elle fait communiquer immédiatement chaque loge avec celle qui la précède et avec celle qui la suit. Les exemplaires que j'ai observés mesurent de 0 mm. 5 à 0 mm. 10 dans leur plus grande longueur. Voici quelques chiffres indiquant le rapport entre les dimensions des individus et le nombre des loges.

Longueur max.	Largeur max.	Nombre des loges
0 mm. 5	0 mm. 3,5	
0 mm. 7	0 mm. 6	5 loges visibles (6)
0 mm. 7	0 mm. 4	9 » »
1 mm.	0 mm. 5	9 » »

BRADY [117] et MOELLER ont décrit dans le Calcaire carbonifère d'Angleterre, d'Ecosse et de Russie, le premier, des Textilaires des genres *Textilaria* et *Bigenerina* — le second, des formes de même type général pour lesquelles il a créé le genre *Cribrostomum*. Personnellement, je n'ai rencontré que des *Textilaria* et, comme je l'ai dit, en très petit nombre. Il semble qu'il en soit de même dans le Calcaire carbonifère de Grande-Bretagne où BRADY ne signale que deux espèces *Textilaria*

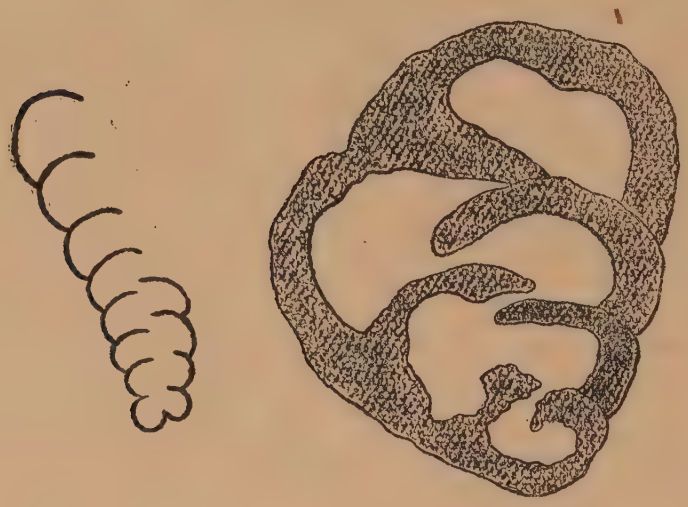


Fig. 18. — Le type Textilaire. Les deux formes les plus communément répandues dans le Calcaire carbonifère boulonnais.

gibbosa et *Textilaria eximia ;* cette dernière espèce étant la mieux représentée. D'après les caractères que j'ai cités plus haut les formes boulonnaises se rapprocheraient davantage de la forme ventrue *T. gibbosa* (cf. Pl. XVI, fig. 57 et 60).

Quant aux *Bigenerina,* je n'en ai point observé dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais — à moins que les formes que je rapporte au genre *Textilaria* ne soient des *Bigenerina* incomplètement développées et encore à la phase bisériée. D'après BRADY [118], du reste, ces formes sont rares en Angleterre et en Ecosse.

MOELLER dans son étude sur « Les Foraminifères du Calcaire car-

117. BRADY. — Monograph... — 1876, p. 131-136, pl. X, fig. 26, 27, 28, 29 ; p. 136, pl. X, fig. 30 et 31.

118. BRADY. — Monograph..... —, 1876, p. 137, pl. X, fig. 30.

bonifère de Russie » [119] ne cite ni les *Textilaria* ni les *Bigenerina* mais les englobe tous deux dans son genre *Cribrostomum*, comme il est aisé de s'en rendre compte par les fig. 4 de la pl. III, 2 de la pl. IV et probablement aussi 5 de la pl. VI de l'auteur. Du point de vue systématique, la disposition relative des loges semble plus essentielle que le type d'ouverture, à en juger par ce que dit BRADY au sujet du type Textilaire :

« L'ouverture se présente normalement sous la forme d'une fissure transversale arquée, située au bord interne du segment terminal près de la ligne de jonction de ce segment avec l'avant-dernier. Exceptionnellement, l'ouverture de la coquille peut être entourée d'un rebord saillant ; chez certains spécimens enfin, l'ouverture typique est remplacée par un petit orifice terminal de forme ronde qui met les dernières loges en communication avec l'extérieur, ou par une série de pores éparpillés sans ordre sur la face distale » [120].

Ce genre *Cribrostomum* qui n'a pas été signalé en Angleterre ni (que je sache) en Belgique, a été rencontré par M. MILON dans le calcaire de Saint-Ségal (Finistère) [121].

B. — Foraminifères hyalins.

La seule forme hyaline observée répond aux caractères du genre *Archaediscus*, BRADY. La coquille enroulée et plus ou moins dissymétrique consiste en un tube dépourvu de tout cloisonnement (cloison véritable ou ébauche) et enroulé sur lui-même dans des directions variées. Le tube, en règle générale, aplati et affaissé, présente en section transversale la forme d'un croissant ; il augmente régulièrement de calibre d'un tour à l'autre (cf. Pl. XVII, fig. 64 et 65) ; certains individus rappellent, à s'y méprendre, la forme figurée par BRADY dans sa mono-

119. VON MŒLLER VAL. — *Mém. Ac. Imp. Sc. St-Pétersb.*, 1880, p. 39 à 68 ; pl. III, IV, VI.

120. « The normal aperture is a transverse arcted fissure at the inner margin of the terminal segment close to its line of union with the penultimate. In exceptional cases the opening is surrounded by a raised lip or border ; and specimens are also occasionally met with in which the later chambers have a small rounded terminal orifice, or even a number of pores scattered irregularly over the distal face, instead of the typical aperture ». cf. BRADY. — Report on..... Challenger 1873-1876, 1884, Text, p. 356.

121. MILON Y. — Recherches sur les calcaires paléozoïques et le Briovérien de Bretagne. — 1928, p. 63.

graphie sous le nom d'*Archaediscus Karreri* [122].

Ce genre, déjà signalé dans le Viséen d'Angleterre et de Belgique, a été retrouvé par M. MILON dans les formations du Massif Armoricain où il « est rare... sauf dans les calcaires du Dourdu, au nord de Morlaix » [123].

II. — ENROULEMENT DES FORAMINIFERES.

Le second fait qui caractérise les Foraminifères carbonifères, c'est le caprice avec lequel ils se développent et s'enroulent.

En dehors des formes monothalames et droites (*Ammodiscus filum*) et des formes polythalames linéaires (*Textilaridae*), les formes enroulées présentent ce caractère qui n'est pas spécial à *Endothyra* mais que l'on retrouve aussi parfaitement marqué chez certaines espèces des genres *Ammodiscus* et *Archaediscus*.

A. — Endothyra.

Chez *Endothyra*, dans la grande majorité des cas, le début de l'enroulement est normal et symétrique, le jeune *Endothyra* affectant alors la forme d'une larve mélolonthoïde qui serait repliée sur elle-même. Cet aspect est celui des coupes parallèles au plan d'enroulement qui, dans l'espèce *E. Bowmani*, mettent particulièrement bien en relief l'allure globuleuse des chambres successives et leur accroissement rapide. A ce stade jeune, bien entendu, les espèces dissymétriques ne se distinguent guère des formes symétriques.

Fig. 19. — Jeune *Endothyra*, à enroulement régulier et symétrique, montrant une séparation nette des chambres et leur accroissement rapide (*E. Bowmani?*).

S'il est difficile et parfois impossible d'assigner leur ordre d'apparition aux premières chambres de l'individu (en raison de leurs dimensions réduites ou de leur empâtement par le carbonate de calcium en granules), jamais néanmoins il n'y a doute sur le sens de l'enroulement qui est très différent de celui des derniers tours. L'animal qui a commencé à s'enrouler régulièrement dans un plan, change brusquement d'orientation et s'enroule dans un plan plus ou moins oblique

122. BRADY. — Monograph... — pp. 142-146, pl. XI, fig. 1-6 ; pl. XII, fig. 4.
123. MILON Y. — op. cit..., 1928, p. 35 et 36, p. 128.

sur le premier. Les tours qui se succèdent montrent une déviation latérale peu accentuée mais constante, si bien qu'on ne peut mieux comparer l'enroulement des *Endothyra* qu'à l'enroulement d'une pelote de laine (cf. Pl. XVI, fig. 58).

B. — Ammodiscus.

Le même type d'enroulement se trouve, bien que peut-être moins accentué, dans certaines espèces du genre *Ammodiscus*. On trouve dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais des formes qui se rapportent à ce genre et dont les unes sont plus ou moins globuleuses et les autres en disque aplati. Ces dernières montrent, en leur centre, un peloton réduit autour duquel le tube continue à s'enrouler régulièrement en gardant la même orientation générale et une symétrie à peu près parfaite (cf. Pl. XVI, fig. 59). Dans d'autres formes, globuleuses, il n'est plus question d'enroulement mais d'un pelotonnement irrégulier qui rappelle le stade jeune des formes lenticulaires (cf. Pl. XVII, fig. 63).

C. — Archaediscus.

Chez certains individus adultes d'*Archaediscus*, la variation d'orientation est encore plus accentuée.

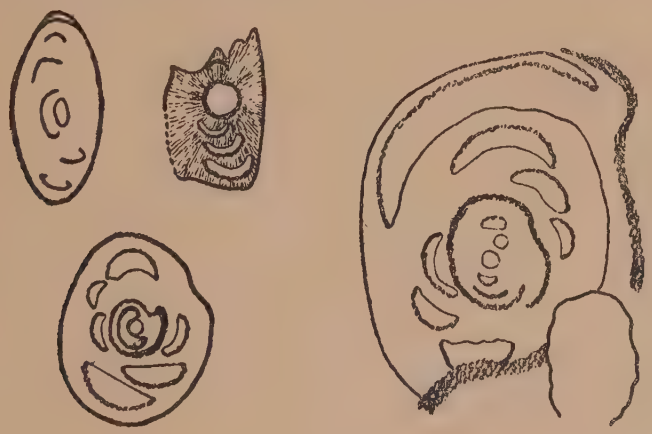


Fig. 20. — *Archaediscus Karreri*, Brady.
Foraminifère à test hyalin de formes lenticulaire et sphérique, constitué par un tube poreux, non cloisonné, enroulé sur lui-même.
Le tube, pour l'ordinaire, s'aplatit; il peut même être presque entièrement périmé et réduit à une ligne de calcaire granuleux.

Les premiers tours sont en général régulièrement enroulés dans un même plan ; ils sont à peu près symétriques mais montrent une ten-

dance à dévier latéralement qui s'accentue à chaque tour. La figure.... montre une de ces formes jeunes présentant déjà trois tours dont les plus récents s'écartent de plus en plus de la ligne médiane et de l'orientation première.

La figure 20 offre un type plus développé sinon adulte — on voit la même déviation dans les premiers tours — puis un changement brusque, suivi d'un enroulement dans un plan perpendiculaire au premier..... Un simple coup d'œil sur le schéma en dira plus qu'une description verbale (cf. Pl. XVII, fig. 64).

Cette dernière forme qui présente 6 tours complets et une ébauche d'un 7e montre, dans l'enroulement de son tube, quatre changements successifs et radicaux sans compter les déviations qui sont elles-mêmes parfois assez accentuées. Elle peut parfaitement répondre à l'espèce décrite par BRADY sous le nom d'*Archaediscus Karreri* et que l'auteur signale.

III. — MICROTEXTURE DES FORAMINIFERES GRANULEUX.

Reste enfin la question délicate et si controversée de la microtexture des Foraminifères granuleux. J'exposerai successivement les vues des principaux auteurs sur la question et j'établirai les principales données de l'observation susceptibles d'éclairer le problème.

A. — Historique.

Deux opinions opposées sont en présence, celle de BRADY et celle de MOELLER.

1. — BRADY fait d'*Endothyra* un foraminifère à test *non poreux et arénacé*, arénacé c'est-à-dire granuleux et ce dernier terme est de beaucoup préférable. L'auteur, en effet, se voit obligé de préciser son terme « arénacé » :

« C'est-à-dire, constitués de petits grains de sable (ce sable, dans les mers calcaires, est, de toute nécessité, un sable calcaire)... les grains menus et arrondis forment un ensemble homogène (ciment calcaire)... Parfois, ce fin ciment calcaire est en tel excès que les sutures de la

coquille sont épaissies et marquées par des cordons clairs, comme cela se voit chez les Foraminifères hyalins » [124].

Un peu plus loin, l'auteur atténue son affirmation et dit que, normalement, *Endothyra* est imperforé — mais que les conditions mêmes d'observation empêchent qu'on se prononce avec pleine certitude. D'après lui, certains aspects fournis par *E. ammonoïdes* et *E. subtilissima* auraient pu être interprétés en faveur de la porosité de la coquille ; mais à un examen attentif dans d'excellentes conditions de grossissement et de luminosité cette interprétation n'a pu se soutenir.

2. — Pour VAL. VON MOELLER au contraire, *Endothyra* est de toute évidence un foraminifère *à test poreux* « eine sehr deutliche poröse Struktur ». Les « *Porencanälen* » sont très fins et ne se décèlent que dans les coupes extraordinairement minces. A son avis, la texture subarénacée à laquelle fait allusion BRADY est secondaire et le résultat d'une transformation. Et il conclut : « Jamais cependant, et je le dis ouvertement, je n'ai eu l'occasion d'observer cette masse calcaire dense et granuleuse qui, comme le prétend BRADY, constituerait la partie principale des coquilles d'*Endothyra* » [125].

3. — Sans rejeter pour autant la manière de voir de MOELLER, STEINMANN [126], de l'étude des Foraminifères (*E. Bowmani* et *E. crassa*) du Calcaire carbonifère allemand conclut à la *nature agglutinante du test* dans la constitution duquel entrent pour une part (bien que rarement) des grains de quartz. Dans le matériel étudié par lui, il n'a point relevé de traces de canaux porifères.

4. — Plus explicite, SCHELLWIEN affirme que, dans le genre *Endothyra*, il est des individus nettement granuleux « dichte, aus feinen Körnern zusammengesetzte Gehäuse » et d'autres à test poreux ; et il ajoute avoir observé des faits analogues dans des exemplaires russes et américains.

124. «That is to say, built up of minute particles of sand (necessarily in these limestone seas, of calcareous sand).... the grains are minute and rounded and set in a homogeneous material (ciment calcaire)... Sometimes the fine calcareous cement is in large excess giving rise to specimens with sutures thickened by bands of clear shell substance just as in the hyaline foraminifera ». cf. BRADY. — Monograph... — 1876, p. 91.

125. « Aber einzelne, wie Brady annimmt, in eine dichte, den Hauptteil der Endothyra-Schalen bildende Kalkmasse, gleichsam eingesetzte Körnchen hatte ich, offen gestanden, noch niemals Gelegenheit gehabt zu beobachten ». cf. MŒLLER. — *Mém. Ac. Imp. Sc. St-Pétersb.*, 1880, p. 91 sq.

126. STEINMANN. — Mikroskopische Tierreste aus dem deutschen Kohlenkalke. — *Zeitschr. d. deutschen geol. Ges.*, 1880, p. 399.

« J'ai d'ailleurs des exemplaires parfaitement conservés provenant de Russie et d'Amérique qui confirment la manière de voir de SCHWAGER, à savoir que, *chez Endothyra, il y a des tests agglutinants et des tests poreux* »[127].

5. — Pour ZITTEL[128], le test chez *Endothyra* serait formé de deux couches, représentées par les deux textures : le test serait dans sa portion extérieure et superficielle, poreux, à canaux porifères distants — dans sa portion profonde et interne, compact et granuleux.

6. — Le terme même de Foraminifères « granuleux » a été créé par M. J. DE LAPPARENT[129] et il est commode pour distinguer les Foraminifères dont le test est constitué par une agglomération de granules de carbonate de calcium de ceux qui sont munis d'un test agglutinant arénacé. Très judicieusement, l'auteur fait remarquer que, si, dans le cas des Foraminifères arénacés, les matériaux ont été certainement empruntés au milieu et n'ont pas été élaborés sous l'action propre et directe de l'organisme, « il est difficile de juger s'il en est ainsi des Foraminifères granuleux ». Je crois néanmoins savoir que l'auteur inclinerait vers l'hypothèse agglutinante ; pour lui, le foraminifère à test granuleux aurait emprunté ses matériaux pour partie aux coquilles de Mollusques qui sont si souvent attaquées et rongées en surface.

7. — SOLLAS dans un travail sur la microtexture des Foraminifères imperforés actuels a mis en évidence, par une décalcification ménagée et une coloration au bleu de méthylène, « un tissu réticulaire ténu... qui s'étend, à travers la substance de la coquille, de la membrane limitante interne à la membrane limitante externe »[130]. Cet ensemble qui est de nature organique a été rapporté par AWERINZEW au groupe des albuminoïdes et identifié par lui comme une kératine. Mais la matière organique n'étant pas ordinairement conservée dans les Fora-

127. « Uebrigens liegen mir gut erhaltene Exemplare aus Russland und Amerika vor, welche die Anschauung Schwager's bestätigen, dass bei Endothyra sowohl agglutinierende wie porös kalkige Gehäuse vorkommen ». cf. SCHELLWIEN. — Die Fauna des Karnischen Fusulinen Kalks. — *Palaeontographica*, 44, 1898, p. 262.

128. ZITTEL. — Traité de Paléontologie (Trad. Barrois). — 1883, t. I, P. I, p. 92 et 93.

129. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — 1923, pp. 265 sq.

130. « a delicate network.... which extends through the substance of the shell from the lining membrane on one side to that on the other ». cf. SOLLAS W. J. — On *Saccamina Carteri* BRADY, and the minute structure of the foraminiferal shell. *Quart. Journ. geol. Soc.*, 1921, p. 197.

minifères fossiles, les vues de SOLLAS n'ont pas un intérêt immédiat. Je garderai de la lecture que j'en ai faite les deux affirmations suivantes : la composition minéralogique est identique et de calcite chez les Foraminifères, que leur test soit poreux ou non ; « la structure poreuse, d'une manière générale, survit aux modifications qui accompagnent la fossilisation » [131].

B. — Faits d'observation.

J'étudierai la microtexture des Foraminifères granuleux en *elle-même* et sans distinction de groupes.

Les Foraminifères granuleux, en lame épaisse, tranchent en noir foncé sur la calcite largement cristallisée du fond et sur celle qui remplit les vides de la coquille ; cette teinte, du reste, n'est pas unie et son allure chagrinée fait penser de suite à une accumulation de petits granules juxtaposés. En lame extrêmement mince, on peut se rendre compte que ces granules ne sont pas isolés mais qu'ils sont serrés les uns contre les autres, sans forme cristalline bien définie et forment ainsi une fine mosaïque. Les grains sont de taille variable suivant les calcaires ; sont-ce de petits rhomboèdres ou de petits scalénoèdres déformés, sont-ils joints par un ciment de calcite, ont-ils été nourris par un apport secondaire de carbonate de calcium, autant de points sur lesquels il est malaisé de faire la preuve en raison de la petitesse des éléments et des phénomènes de réfraction sur la surface de séparation des cristaux.

Ceci posé, quatre cas peuvent se présenter :

1. — Le test a un aspect dépoli homogène ; il consiste en un *agrégat de granules* de carbonate de calcium. C'est la texture type des *Ammodiscus* et de quelques *Endothyra* (cf. Pl. XVI, fig. 58, 59, 60 ; Pl. XVII, fig. 63).

2. — Le test est en majeure partie granuleux, mais aux granules calcaires s'ajoutent des *particules étrangères* qui ponctuent ou lignent de blanc le fond granuleux noir (cf. Pl. XVI, fig. 60 et 61). Ces éléments étrangers sont plus ou moins nombreux et diversement orientés. C'est le cas normal chez les Textilaires et dans certains *Endothyra* légèrement dissymétriques, à ombilic profond et à test épais que je rapprocherais volontiers de l'espèce *E. crassa*. Assez souvent, j'ai observé dans l'épaisseur du test de *Textilaridae* des Granulosphères, parfois à raison

131. « the perforate structure generally survives the changes which accompany fossilization ». cf. SOLLAS. — loc. cit., p. 199.

de plusieurs exemplaires (cf. Pl. XVI, fig 60) — ce qui fait supposer que ces sphères granuleuses vivaient sur le fond ; par contre je ne les ai observées que rarement dans le test de certains *Endothyra* (à coquille épaisse).

3. — Parfois le test, de texture granuleuse typique, montre en son milieu une ligne plus claire qui souligne nettement les parois et les cloisons de certains *Endothyra*. Cette zone claire exerce une certaine action sur la lumière polarisée ; une ombre se déplace dans la zone quand on fait tourner la platine du microscope mais sa direction est difficile à préciser. D'abondants granules de carbonate de calcium minuscules s'observent aussi. Les deux zones sombres qui flanquent extérieurement et intérieurement la ligne claire dont il vient d'être question n'agissent pas sur la lumière polarisée ; leur texture, que je crois granuleuse, est indiscernable même à de forts grossissements.

4. — D'autres *Endothyra* (cf. Pl. XVII, fig. 66) montrent en certains points de leur test (parois extérieures) des portions plus ou moins zébrées radialement de gris et de noir. Il y a alternance plus ou moins régulière de raies grises (hyalines) et de plages noires (granuleuses), ces dernières beaucoup plus épaisses. Cet aspect rappelle, quoique de très loin, les figures données par VON MOELLER dans les planches 12 et 13 de son travail intitulé « Die spiral-gewundenen Foraminiferen des russischen Kohlenkalks ». J'ajouterai, au moins en ce qui concerne ces portions zébrées, que les tests où on les rencontre paraissent sensiblement plus minces. Les zones nettes sont très localisées ; cependant il est légitime de se demander si les zones granuleuses homogènes ne masqueraient pas une texture identique à celle que je viens de décrire mais qui aurait été plus ou moins périmée.

C. — Interprétation des faits.

Jusqu'à plus ample information et me basant sur les faits qui laissent le moins de place au doute, j'incline à considérer les Foraminifères à test granuleux comme des *agglutinants*.

1. — Je ne prétends pas pour autant (les faits observés ne m'y autorisent pas) que la totalité des éléments qui entrent dans la constitution du test soient d'origine étrangère à l'organisme, autrement dit que le test dans sa totalité résulte de l'agrégation de particules calcaires (granules) et organiques (débris quelconques, esquilles, Granulosphères) empruntés, par l'organisme vivant, au fond marin sur lequel il vivait. Ce qui est indéniable c'est qu'il y a apport d'éléments étrangers — mais

cet apport, qui est considérable si on y englobe les granules qui constituent le fond du test, est faible au contraire et accessoire si on les en exclut. Tout revient donc à résoudre ou à élucider le problème de l'origine du granule.

2. — Pour ce qui est des deux derniers types de texture (parois à zone médiane claire, flanquée de zones sombres — parois rayées radialement de plages hyalines claires et granuleuses sombres), je me demande si ce ne sont pas là deux aspects particuliers d'une texture qui serait, elle aussi, essentiellement granuleuse. Dans le premier cas, en effet, la zone médiane, claire en lumière naturelle, ne change guère d'aspect en lumière polarisée même si l'on fait tourner la platine du microscope. Elle est donc probablement formée de grains plus gros que ceux des zones sombres interne et externe et sans mélange d'impuretés. — Le second cas est trop spécial pour qu'il puisse servir à étayer une conclusion générale : les individus chez lesquels je l'ai observé sont tous des formes à test relativement mince et qui, par leur aspect d'ensemble et l'allure de leurs chambres, me semblent se rapporter à l'espèce *E. Bowmani*. De plus, cette texture radiée est très localisée et les raies qui la constituent ne sont pas toutes continues.

3. — **Origine des granules.**

Cette origine peut être multiple et le granule qui constitue essentiellement le test des Foraminifères granuleux peut résulter, soit de l'activité purement mécanique de ces organismes — soit de leur activité vitale — soit de ces deux activités combinées.

L'organisme peut n'être pour rien immédiatement dans l'élaboration du granule de carbonate de calcium. Ce granule se serait formé et déposé par voie chimique sous l'influence de causes multiples d'ordre physique et chimique (solubilité, pression, appauvrissement en gaz carbonique, réactions dues à la présence de matières organiques en voie de désintégration etc...). Les Foraminifères, vivant sur le fond, auraient emprunté à ce milieu les éléments de leur coquille ; certaines espèces à test mince auraient choisi exclusivement ces minuscules granules, d'autres (Textilaires surtout, *Endothyra* à test épais) se seraient construit une coque aux dépens de la vase composée de granules calcaires et de débris organiques (esquilles, Granulosphères, etc..). En faveur de cette explication, il faudrait faire valoir ce fait que les coquilles minces sont composées exclusivement de granules, tandis que les coquilles épaisses qui montrent dans leur épaisseur des fragments, des esquilles et des Granulosphères, sont, elles aussi, essentiellement granuleuses. De plus,

les granules du test rappellent dans leur ensemble et leurs dimensions ceux qui constituent le fond de la roche.

Le test granuleux pourrait résulter de l'incrustation par l'organisme lui-même d'une membrane organique qui aurait limité vers l'extérieur sa masse plasmique. Le cytoplasme se débarrassant de substances inutiles ou en excès, dans le cas présent du calcium sous forme de carbonate ou autre composé, en aurait incrusté la membrane organique, lui communiquant ainsi plus de solidité et de rigidité. C'est le processus réalisé chez les Algues calcaires et, chez ces organismes, la texture est granuleuse et en tout identique à celle des Foraminifères granuleux.

Bref, en dehors de quelques rares genres (*Archaediscus, Valvulina*) à test poreux et hyalin, la grande majorité des Foraminifères du Calcaire carbonifère dans le Boulonnais a un test dépourvu de pores, et de texture granuleuse. Il est indubitable que parmi ces formes il en est d'agglutinantes (Textilaires et *Endothyra* à test épais) — mais il ne me semble pas possible de décider si tous les Foraminifères granuleux sont agglutinants et si le test a pris naissance par voie d'agrégation d'éléments étrangers ou par incrustation de grains élaborés par l'organisme lui-même. La similitude du test dans les différents types de Foraminifères granuleux comporterait, selon moi, une sérieuse présomption en faveur de la première hypothèse.

CHAPITRE II.

MICROFAUNE (SUITE)

ETUDE DES GENRES GRANULOSPHAERA, CYTOSPHAERA, ET DIPLOSPHAERA.

J'ai commencé au chapitre précédent l'étude des organismes, microscopiques ou de petite taille, qui chargent les sédiments du Calcaire carbonifère boulonnais ; j'achèverai, dans ce chapitre, l'étude de la microfaune en passant en revue les principaux types d'organismes inférieurs qui s'y rencontrent le plus fréquemment.

Les éléments de cette microfaune, en grande majorité, sont sphériques et calcaires et, de ce chef, devraient être nommés *calcisphères* et *pseudocalcisphères*. J'abandonnerai néanmoins ce vocable qui sert depuis quelque temps à abriter les organismes les plus hétéroclites et les plus divers, témoin les formes décrites par WILLIAMSON et celles figurées récemment par M. MILON dans ses « Recherches sur les calcaires paléozoïques et le Briovérien de Bretagne ». Aux formes déjà décrites par WILLIAMSON et qu'il a figurées à la page 28 de son travail « types très variés se rapportant, sans doute possible, à de multiples groupes » [132], il a joint, dans son étude des calcaires dévoniens de la Villedé d'Ardin, de nouvelles formes, les unes épineuses, les autres réticulées [133]. Ces dernières surtout ne montrent guère de parenté avec les *Calcisphaera* de WILLIAMSON. Aussi, laissant de côté tous ces types divers et le nom de calcisphères qui leur a été donné, nom qui ne signi-

132. CAYEUX L. — *C. R. Ac. Sc.*, 1929, t. 188, p. 594.

133. MILON Y. — Recherches sur les calc. paléoz... — 1928, p. 66, fig. 35 ; et p. 67, fig. 36.

fie plus rien puisqu'il s'applique à toute espèce d'organismes, ne m'arrêterai-je ici qu'à ce que M. CAYEUX appelle les « *Calcisphères typiques* » [134], formes de beaucoup les plus répandues et proposerai-je de prendre pour les nommer le nom beaucoup plus adapté et beaucoup plus parlant de *Granulosphères* [135].

Je passerai ensuite en revue quelques-unes des formes dont la connaissance s'impose en raison même de leur fréquence ou de la curiosité de leur aspect.

I. — GENRE GRANULOSPHAERA NOV.

GRANULOSPHAERA LAEVIS.

A. — Morphologie.

Ce sont des balles creuses limitées par un épais manchon calcaire. Il en est de toute taille, jusqu'à 0 mm 250 — mais ce diamètre est exceptionnel et, dans l'ensemble des cas, il ne dépasse pas 0 mm 1 (cf. Pl. XVIII, fig. 71).

La cavité centrale est de calcite hyaline et occupée dans la majorité des cas par un ou deux individus cristallins. Le manchon, gris ou d'un noir profond, est de calcaire granuleux (cf. Pl. XVI, fig. 58, secteur sud-ouest, en bas) et sans action apparente sur la lumière polarisée.

L'aspect extérieur de ces petites balles est, en lame mince, des plus variés. L'épaisseur relative de la cavité et du manchon variera suivant que la section s'écartera ou se rapprochera de la ligne des pôles et de l'équateur. La portion centrale, hyaline, changera d'aspect suivant qu'on la voit directement ou seulement par transparence à travers une très mince couche de calcaire granuleux ; elle pourra n'apparaître que sous la forme d'un halo ou même disparaître complètement dans le cas de sections tangentes à la surface. A l'extrême, elles se présenteront sous la forme de sphères de petit calibre et entièrement granuleuses, sans distinction aucune de cavité et de manchon (cf. Pl. XVIII, fig. 75).

B. — Microtexture du manchon cortical.

Plusieurs cas sont ici à envisager :

1. — Dans la presque totalité des cas, *le manchon est purement et simplement granuleux*, sans qu'on puisse y distinguer autre chose qu'une fine mosaïque de petits cristaux serrés les uns contre les autres (cf.

134. CAYEUX L. — *C. R. Ac. Sc.*, 1929, t. 188, p. 594.
135. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — p. 269.

Pl. XVI, fig. 58). La seule remarque à faire ici, c'est que toutes les Granulosphères ne présentent pas le même aspect et qu'il en est qui sont de grain plus fin que d'autres, mais ce point est accessoire.

Fig. 21. — Microtexture de *Granulosphaera laevis*, gen. nov.
1, Forme la plus répandue, à sphère centrale de calcite hyaline entourée d'un épais manchon de calcaire granuleux — 2, Dans certains individus, le manchon granuleux montre, dans son épaisseur, une succession de lignes alternativement plus sombres et plus claires — 3, Canaux radiaires traversant de part en part toute l'épaisseur du manchon granuleux — 4, Le manchon esquisse parfois une vague structure réticulée qui pourrait être la résultante des structures figurées en 2 et 3.

2. — A côté de Granulosphères à test opaque, granuleux et homogène, il en est dont le manchon se partage en deux ou trois *zones concentriques*, alternativement plus opaques et plus transparentes, ces dernières semblant montrer parfois une orientation de granules qui donne l'aspect de petites fibres (cf. Pl. XVIII, fig. 78).

3. — Dans d'autres sections, le manchon granuleux est parcouru radialement dans toute son épaisseur par des lignes noires dont le parcours parfaitement rectiligne semble n'avoir été conservé qu'à la faveur de très fines particules charbonneuses provenant de la décomposition de matières organiques (cf. Pl. XVIII, fig. 73, moitié de droite, au milieu). Ces lignes, très fines, continues ou ponctuées, seraient de très *fins canalicules* qui mettraient la cavité centrale en communication avec le milieu extérieur. Etudiés en place dans la roche elle-même, ils semblent se terminer à la surface interne du manchon par une petite tache blanchâtre papilliforme et, à sa surface externe, par un petit renfoncement en entonnoir qui ne s'observe que rarement, les conditions se présentant au mieux (cf. Pl. XVIII, fig. 75, moitié de droite, au milieu).

4. — Enfin, chez certains individus, des lignes foncées moins nettes, moins continues et à direction tangentielle recoupent les lignes radiales dont il a été question ci-dessus et semblent esquisser un *vague réseau* qui occuperait toute l'épaisseur du manchon. Ce manchon prend dès lors l'aspect d'un massif cellulaire à cellules superposées sur deux ou trois rangs, de section cubique chez les individus de petite taille ou de forme plus ou moins aplatie tangentiellement à la surface de la sphère

dans les individus de grande taille. A la rencontre des lignes radiales et tangentielles, j'ai observé des empâtements de matière noire ou brune qui accentuent beaucoup l'aspect réticulaire (cf. Pl. XVIII, fig. 74).

Ces détails de microtexture peuvent être ou n'être pas en rapport avec la structure concentrique dont il a été question plus haut (cf. 2). Il ne me paraît pas faire de doute que ces aspects divers se réfèrent en réalité à une seule et même espèce organique de microtexture plus ou moins bien conservée suivant les conditions du milieu. En ce qui concerne les calcaires carbonifères du Boulonnais, il est à remarquer que les cas 3 (structure radiaire) et 4 (structure réticulaire) se rencontrent dans des calcaires grenus à grain fin dont le fond se montre plus chargé de matières organiques, disons d'une manière plus générale d'impuretés.

J'appellerai les sphères creuses à manchon granuleux que je viens de décrire du nom de *Granulosphaera laevis* (syn. *Calcisphaera laevis* WILLIAMSON) [136], la forme la plus répandue étant celle figurée par cet auteur sous le n° 70 de la pl. 20 de son travail « On the organization of the fossil plants of the coal-measures ». C'est cette même forme que M. MILON figure sous la lettre c dans les pl. III, IV et V de sa thèse de doctorat.

Outre cette forme, la seule des formes décrites par WILLIAMSON que je ramènerai à *Granulosphaera laevis* est *Calcisphaera fimbriata* (cf. loc. cit., pl. 20, fig. 67) qui présente la microtexture que j'ai décrite ci-dessus dans le cas n° 2.

C. — Interprétation et classification.

Ce n'est pas sans mal et sans de multiples observations que j'ai pu mettre au point les détails de texture que je viens d'exposer et qui m'ont été fournis par quelques individus rencontrés dans des calcaires grenus à grain fin du Calcaire carbonifère du Boulonnais.

136. Je me fais d'autant moins de scrupule de changer le nom de *Calcisphaera* en celui de *Granulosphaera* que l'auteur lui-même n'attribuait à ce nom aucune valeur spécifique ou générique quelconque ; il n'avait en vue, ce faisant, que des « provisional names » qu'il employait pour un motif de pure commodité :

« Hence I venture to follow the plan adopted in the case of the Foraminifera, in which latter the purport of the names, generic as well as specific, is understood to have no reference to real genetic distinctions». cf. WILLIAMSON W. C. — On the organization of the fossil plants of the Coal-Measures (Part x). — *Phil. Trans. roy. Soc.*, London, 1880, p. 521.

Pour vaincre les difficultés d'observation, M. CAYEUX s'est adressé à des milieux conservateurs et dans l'espèce à des accidents siliceux « toujours plus sapropéliens que leurs roches-mères ». Un échantillon du calcaire noir de Maredsous lui a fourni de ces organismes une préparation colorée par la nature elle-même :

« Des Calcisphères ont leurs cavités remplies d'une matière brune, d'aspect amorphe et d'origine sapropélienne. De chaque cavité partent de nombreux canalicules, rayonnants, rectilignes, équidistants, traversant toute l'enveloppe et débouchant à la surface ; ces canalicules, injectés de matière brune, ressortent avec une admirable netteté. En examinant les Calcisphères envahies par la matière brune, on a l'impression de se trouver en présence d'une préparation histologique dont tous les détails ressortent dans la perfection, grâce à l'emploi de colorants. En conséquence, les *Calcisphères typiques étaient originellement perforées*, et leur structure première a été effacée par la fossilisation » [137].

Tous ces détails concordent avec ceux que j'ai personnellement observés et brièvement décrits plus haut (cas n° 3).

1. — De nombreux pétrographes se sont intéressés à ces petits organismes de nature énigmatique. Tous en font des Protozoaires (WETHERED, 1888 ; M. T. A. JONES, 1921) qu'ils rattachent à des groupes bien définis, Radiolaires (JUDD, 1877 ; MAC LEAN, 1912) et Foraminifères (WILLIAMSON, 1880, p. 524) ou qu'ils apparentent à ces mêmes groupes (SHRUBSOLE, 1878).

Bien que plusieurs d'entre eux, WILLIAMSON (1880), WETHERED (1888) et M. CHAPMAN (1921) aient suggéré l'hypothèse d'une origine végétale, M. MILON, le premier, oriente nettement vers le règne végétal et vers les Algues calcaires [138]. Je ne m'attarderai pas à discuter sa position car les formes sur lesquelles repose son option sont des formes épineuses et réticulées qui n'ont guère de parenté avec les *Granulosphaera.*

M. CAYEUX, dans une note récente, rattache les Granulosphères aux Algues siphonées, après les avoir résolument écartées des Radiolaires et des Foraminifères.

2. — La première hypothèse en date est celle de JUDD qui inclinait à en faire des Radiolaires, hypothèse battue en brèche deux ans plus tard par WILLIAMSON (1880). Ce dernier objectait surtout l'absence

137. CAYEUX L. — *C. R. Ac. Sc.*, 1929, t. 188, p. 596.
138. MILON Y. — Recherches..... — 1928, p. 31.

de squelette treillissé comme aussi ce fait que la sphère centrale est dépourvue de vase calcaire et comblée par de la calcite hyaline, cette calcite provenant d'une solution « qui, de toute évidence, a filtré à travers la paroi poreuse de la sphère » [139].

Malgré l'ingénieuse explication de M. MAC LEAN (1912) qui fait des Granulosphères des Radiolaires adaptés aux eaux saumâtres, leur mode de fossilisation reste une objection d'une particulière gravité. Comment admettre la transformation minéralogique du test des *Granulosphaera* et le remplacement de la silice originelle par de la calcite secondaire lorsque, comme le fait remarquer justement M. CHAPMAN [140], d'autres organismes dans la même roche ont gardé leur squelette siliceux.

M. CAYEUX, tout récemment (1929), objectait à son tour le défaut d'ornementation, l'épaisseur du test et le mode de fossilisation « qui en fait des organismes partout et toujours calcaires » [141].

Ce dernier argument, sans avoir une valeur absolue, n'en est pas moins d'un très grand poids ; il acquiert une force exceptionnelle si on le double de celui mis en valeur par M. CHAPMAN. Il n'est pas inouï que la calcite recristallise en tout petits cristaux et je l'ai personnellement observé, mais jamais ces cristaux ne présentent une semblable homogénéité de grain. Au surplus, il ne faut pas oublier que ce mode de fossilisation est exceptionnel ; il est dès lors inconcevable que des organismes originellement siliceux aient tous recristallisé suivant ce mode exceptionnel.

3. — Le problème des Granulosphères semble donc se simplifier ; il se résout à cette alternative : les Granulosphères (« Calcisphères typiques » de M. CAYEUX) sont-elles des Foraminifères ou des Algues calcaires?

a. — En faveur de leur attribution au groupe des Foraminifères, il faudrait citer WILLIAMSON et mon maître M. J. DE LAPPARENT :

139. « obviously filtered through the porous sphere-wall » cf. WILLIAMSON W. C. — On the organization..... — 1880, p. 523.

140. CHAPMAN FRED. — On Ostracoda, Foraminifera and some organisms related to Calcisphaerae from the Devonian of Germany. — *Journ. roy. microsc. Soc.*, 1921, p. 336.

141. CAYEUX L. — *C. R. Ac. Sc.*, 1929, t. 188, p. 596.

le premier, insistant surtout sur la forme du test et sur le caractère poreux de la véritable muraille de la sphère ; le second, sur la nature granuleuse de la paroi.

« Il y a lieu aussi de signaler, dans cette classe, certains Foraminifères formés d'une seule loge en forme de sphéroïde ou de sphère et dans laquelle on ne voit aucune ouverture. Cette forme, connue dans les mers actuelles, y est arénacée : on l'appelle *Psammosphaera*. Nous la rencontrerons en abondance dans les sédiments carbonifères, mais elle y est granuleuse. Les auteurs anglais la désignent sous le nom de *Calcisphaera*. Pour rappeler sa texture nous l'appellerons Granulosphère » [142].

b. — En faveur de l'hypothèse végétaux, WILLIAMSON (1880) et WETHERED (1888) n'ont émis que de vagues suggestions. M. CHAPMAN (1921) précise davantage et signale la présence d'une calcisphère (lato sensu) dans un *Sporocarpon aculeatum* [143] ; mais la calcisphère en question se rapproche du type *Calcisphaera spinosa* WILL. et n'a aucun rapport structural avec *Granulosphaera*.

M. CAYEUX est le seul, que je sache, à avoir précisé la position systématique de *Granulosphaera*. Se basant sur l'épaisseur de l'enveloppe calcaire et l'état de fossilisation, il écarte les Foraminifères monoloculaires ; et il fait des Granulosphères « des thalles d'algues calcaires, microscopiques et unicellulaires » qui « par tous leurs caractères... se rattachent aux algues siphonées » [144].

Je dois l'avouer : ce que je connais des Granulosphères me laisse dans l'incertitude sur leur attribution définitive au règne animal ou végétal.

Pour ce qui est du mode de fossilisation, le manchon cortical de *Granulosphaera* ne diffère en rien du test de certaines espèces d'*Endothyra* ; par ailleurs, le calcaire granuleux qui le constitue est de même allure absolument que celui dont sont édifiées les parois des tubes chez les Algues calcaires.

Quant à la structure réticulaire de certaines formes, elle est trop vague encore et trop imprécise. La présence de canaux radiaires traversant de part en part l'épaisseur du manchon me paraît suffisamment établie ; moins évidente peut-être est l'existence du réseau que M. CAYEUX ne signale pas dans ses silexites, moins aisé à formuler est le rôle et la signification exacte des ponctuations et des traînées

142. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — 1923, p. 269.
143. CHAPMAN FRED. — loc. cit., 1921, p. 338.
144. CAYEUX L. — *C. R. Ac. Sc.*, 1929, t. 188, p. 596.

sombres concentriques. Soulignent-elles simplement les phases d'épaississement du manchon? — ou le réseau existe-t-il en tant que tel, vestige d'un squelette animal ou végétal ?

Pour toutes ces raisons et puisque rien de décisif ne me paraît absolument établi, j'incline à laisser provisoirement les Granulosphères là où de nombreux savants les ont placées, c'est-à-dire au rang des Foraminifères. Du point de vue purement pétrographique du reste, le classement de ces multiples petits organismes est accessoire, hasardeux et de nulle valeur scientifique aussi longtemps qu'on ne les trouve pas en place comme c'est le cas pour les « médusoïdes » de l'organisme Henriette, aussi longtemps que ce classement n'est pas justifié par des caractères morphologiques, anatomiques et minéralogiques indiscutables. De presque toutes ces petites formes sphériques on peut faire avec autant de certitude des Foraminifères, des spores, des cellules végétales sexuelles, des kystes, des thalles microscopiques unicellulaires ou pluricellulaires, etc.

D. — Conclusions.

1. — Il n'y a pas de doute qu'il y ait des Granulosphères de petite taille et d'autres de grande taille ; ce fait est facile à déduire de l'étude comparative des diamètres du vide central et des épaisseurs de l'anneau cortical granuleux, en décomptant bien entendu, comme je l'ai dit plus haut, un certain nombre d'individus chez lesquels l'aspect d'ensemble et les dimensions relatives du vide central et du manchon cortical sont modifiés par la direction de la section suivant laquelle ils sont intéressés. Les Granulosphères de tailles diverses représentent bien un seul et même type organique à des stades de développement plus ou moins avancés — donc un organisme susceptible de croissance et muni, de son vivant, d'un manchon cortical qui n'était pas absolument rigide.

A l'appui de cette affirmation, je puis citer le cas, rare mais non exceptionnel, de Granulosphères qui ont perdu leur forme régulière et rigoureusement sphérique pour affecter celle d'ellipsoïdes.

2. — Mais, à côté de ces Granulosphères déformées, j'en ai observé dont le manchon cortical est éclaté et divisé en deux ou trois segments qui, pour l'ordinaire, ont gardé leur position relative. Ainsi en est-il, à mon avis, de la « forme irrégulière, à revêtement épais et montrant un canalicule » figurée par M. MILON à la pl. 2, fig. 1, de sa thèse. Cette forme est une Granulosphère typique et le canalicule, purement accidentel, est dû à l'éclatement du manchon cortical et à l'écartement des lèvres.

3. — Du fait de sa remarquable homogénéité de grain, le manchon cortical des Granulosphères ne me paraît pas pouvoir s'expliquer par l'adjonction de matériaux que ces organismes auraient puisés dans le milieu ambiant et agglutinés. Le granule calcaire que, d'une manière générale tant dans les parois organiques que dans les sédiments eux-mêmes, je regarde comme le témoin d'une substance organique aujourd'hui disparue, résulterait de l'activité cellulaire de l'organisme. Déchet ou non, ce carbonate de calcium, employé par l'organisme pour renforcer sa coque, lui aurait laissé une certaine souplesse ; sa production normalement ménagée aurait pu s'exagérer avec l'âge de l'organisme et, après sa mort, transformer le manchon cortical demi-souple en une balle complètement rigide et susceptible d'éclater à la pression. Ainsi s'expliqueraient les Granulosphères déformées et celles que l'on trouve segmentées et éclatées.

II. — GENRE CYTOSPHAERA NOV.

CYTOSPHAERA CANCELLATA.

A. — Morphologie et structure.

Cette forme rappelle étrangement par son aspect d'ensemble *Calcisphaera cancellata* de WILLIAMSON ; elle est toutefois de beaucoup plus grande taille, le vide central y est beaucoup plus développé et conséquemment le manchon relativement plus mince.

Ce manchon est limité sur ses deux surfaces intérieure et extérieure par une zone linéaire plus sombre ; et ces deux lignes sont elles-mêmes réunies l'une à l'autre par des traînées noires à direction radiaire et régulièrement distancées : de ce fait, le manchon prend l'aspect d'une assise de petites cellules juxtaposées, de forme régulière et cubique (cf. Pl. XVIII, fig. 79).

Telle est la structure du manchon dans ses portions bien conservées. En d'autres points de la surface, la zone sombre externe a pu disparaître ainsi que les traînées sombres radiaires qui réunissent cette zone à la zone interne ; seule subsiste dans ce cas la zone interne entourée d'un cerne grisâtre de calcaire granuleux (cf. Pl. XVIII, fig. 76).

Suivant les individus, le vide central est occupé par de la calcite, hyaline ou chargée d'impuretés et de grumeaux, constituée par une mosaïque de petits ou de gros cristaux.

B. — Microtexture.

Il est difficile de se prononcer avec certitude sur la microtexture des parois tant interne qu'externe ; il semble néanmoins que le manchon soit constitué dans toute son épaisseur par du calcaire granuleux typique masqué par des matières organiques qui empâtent la surface interne du manchon, sa surface externe et les tractus radiaires qui les unissent.

C. — Interprétation de certains détails de structure.

Ces tractus radiaires paraissent devoir s'interpréter non de canaux mais de cloisons organiques ayant subsisté en certains points, s'étant détruites et périmées en d'autres ; elles sont nettement décurrentes au contact de leurs deux parois interne et externe et limitent ainsi une cavité de forme plus ou moins circulaire. Une telle manière d'être me paraît confirmer cette affirmation, comme aussi ce fait que j'ai rencontré des sphères du même type réduites à leur couche noire interne et hérissées d'appendices (cf. Pl. XVIII, fig. 81). Ces appendices, élargis dans leur portion basale et effilés dans leur portion distale, ne sont autre chose que des vestiges de ces cloisons radiaires. En cet état l'organisme ici décrit prend un aspect identique à la calcisphère figurée par M. MILON sous le n° 6 à la p. 66 de sa thèse.

Bref, on peut trouver tous les états de conservation ; à l'extrême, les cloisons radiaires ayant complètement disparu, l'organisme ci-dessus décrit se présentera sous l'aspect d'une sphère hyaline limitée par une zone à pigments noirs et entourée d'un cerne grisâtre de calcaire granuleux.

D. — Classification.

Cytosphaera, par l'ensemble des caractères que je viens de décrire, me paraît ressortir au règne végétal et au groupe des Algues.

Je le conçois comme un massif cellulaire de forme sphérique ; les cellules, juxtaposées en une seule assise régulière, sont disposées à la périphérie d'une sphère creuse et remplie par une substance plus ou moins liquide (eau, matière gélatineuse) — comme cela se voit de nos jours chez certaines Algues de la famille des Volvocacées.

A la taille près, cet organisme rappelle étrangement *Calcisphaera cancellata* de WILLIAMSON. Je l'aurais volontiers nommé *Cytosphaera fragilis* pour rappeler la fragilité de l'anneau cellulaire périphérique qui souvent peut manquer et ne montrer qu'un cerne de calcaire granuleux. Toutefois, vu la très grande analogie des deux formes, je lui garderai le qualificatif que lui a donné WILLIAMSON, à savoir: *Cytosphaera* nov. gen. *cancellata.*

III. — GENRE DIPLOSPHAERA NOV.

DIPLOSPHAERA INAEQUALIS NOV. SP.

A. — Morphologie et structure.

C'est une balle sphérique à muraille mince très foncée présentant en un point de sa surface un renflement ou bombement plus ou moins accentué. Il s'agit de deux sphères de taille inégale et emboîtées l'une dans l'autre : la plus grande, remplie de calcite hyaline en large mosaïque, — la plus petite, formant bouchon, dépolie et grise, remplie de calcaire granuleux et d'impuretés (cf. Pl. XVIII, fig. 77).

B. — Texture.

La muraille de la grande sphère présente de l'extérieur à l'intérieur une succession de trois zones :

— une zone hyaline externe d'épaisseur variable suivant les points et formée d'éléments radiaires à extinction droite donc de texture prismatique ;

— une zone intermédiaire opaque, noire, de calcaire granuleux ;

— une zone hyaline interne, d'allure irrégulière et de texture prismatique dans les portions où cette texture est nette.

La zone granuleuse et les deux zones hyalines s'épaississent considérablement au voisinage de l'emboîtement de la petite sphère dans la grande, la zone hyaline interne se repliant vers l'intérieur sous la petite sphère.

Celle-ci, entièrement remplie de granules calcaires, est limitée par une muraille granuleuse de même caractère que la zone intermédiaire de la grande sphère mais d'épaisseur moindre. Je n'ai pu distinguer nettement d'autre détail.

Les deux zones hyalines font-elles partie intégrante de la muraille? ou sont-elles dues à une cristallisation du type de celles qui se forment à la surface externe de Corydopodium dans les lacunes interlaminaires? Tout ce que je puis dire c'est que, si ces zones ne sont pas constantes, du moins elles existent normalement ; la zone externe fait plus souvent défaut que l'interne, peut-être parce qu'elle est masquée par les granules calcaires de la matrice.

C. —Aspects divers ; interprétation.

Beaucoup d'individus à forme sphérique parfaitement régulière se ramènent au type que je viens de décrire ; ils sont toujours reconnaissables à l'aspect spécial et à la minceur de la zone granuleuse, parfois aussi aux deux zones hyalines qui la flanquent intérieurement et extérieurement. Il en est ainsi de toutes les sections de l'organisme qui ne passent pas par la petite sphère ou à proximité d'elle.

D'autres formes sphériques sont simples et le bombement superficiel est remplacé par une dépression munie sur ses bords de deux pointes noires de calcaire granuleux, seuls vestiges de la surface suivant laquelle la petite sphère se raccordait avec la grande. C'est le cas des sections tangentes au plan de raccord des deux sphères.

Volontiers je rattacherai cette double sphère au règne végétal et j'en ferai un organe de dissémination : la petite sphère floue, chargée de granules et d'impuretés, jouerait le rôle d'élément cellulaire, la grande sphère servant de ballon à air destiné à alléger l'ensemble et à faciliter le transport. Il est facile de prévoir que sous certaines conditions favorables la paroi puisse crever et mettre en liberté le petit élément cellulaire (cf. Pl. XVIII, fig. 80, moitié de droite, au milieu) ; mais il est malaisé d'en faire la preuve, car les organismes incomplets peuvent s'interpréter aussi justement d'une coupe tangentielle au plan de raccord des deux sphères que d'une coupe intéressant le renflement après libération de la petite sphère.

Appendice.

A ces formes il s'en ajoute d'autres parmi lesquelles les « méduso'ides » dont j'ai parlé à l'occasion du Marbre Henriette et que j'ai interprétés comme représentant des cellules sexuelles de *Polymorphocodium Lapparenti.*

CHAPITRE III

MICROTEXTURE DES TABULES.

I. — LE GROUPE DES TABULES.

Les Tabulés (*Tabulata*) représentaient autrefois un des cinq grands groupes dans lesquels MILNE-EDWARDS et HAIME avaient réparti les Madrépores. Ce groupe est aujourd'hui inexistant en tant que tel et ses anciens représentants ont été dispersés et classés parmi les Hydraires, les Bryozoaires, les Alcyonnaires et les Coralliaires à pores muraux. Quelques-uns d'entre eux, de position systématique encore incertaine, ont été classés par ZITTEL [145] en appendice aux *Favositidae*. L'auteur y décrit quelques genres incertae sedis du groupe des *Zoantharia Tabulata et Tubulosa* E. H. parmi lesquels figure le genre *Syringopora ;* ces genres présentent ou ne présentent pas de cloisons radiales, ils sont munis ou dépourvus de planchers.

Personnellement, sous ce vocable de « Tabulés », j'entends parler d'organismes tubulaires, dépourvus de cloisons radiales, et munis de planchers, pour l'ordinaire horizontaux, — que ces tubes soient isolés et indépendants, ou bien groupés et réunis les uns aux autres par des tractus ou enfin étroitement juxtaposés et formant ensemble une colonie massive. Les formes que j'ai pu étudier dans les sédiments carbonifères du Boulonnais appartiennent en majeure partie aux deux premiers types

145. ZITTEL K. A. — Traité de Paléontologie (Trad. Ch. Barrois), t. I Paléozoologie, P. I, p. 243.

d'organisation ; *Syringopora favositoïdes* est la seule espèce que j'ai rencontrée formant une colonie massive de quelque envergure.

Les planchers, comme j'ai pu m'en rendre compte sur des fragments partiellement silicifiés, sont perforés en leur centre. Or, si je songe d'une part au peu de chance qu'il y a de tomber sur une coupe qui intéresse cette perforation médiane et d'autre part au nombre de fragments longitudinaux qu'il m'a été permis d'étudier, je crois pouvoir en inférer que souvent, sinon toujours, les Tabulés carbonifères présentent cette interruption médiane des planchers.

II. — FACIES : CALCAIRES A TABULES ET CALCAIRES DE TABULES.

Les Tabulés sont représentés dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais par des formes que l'on a coutume de rapporter au genre *Syringopora* et qui se rencontrent, souvent en tubes isolés et fragmentés, parfois en buissons, par ex. au niveau des dolomies et calcaires dolomitiques à *Lithostrotion Martini* — mais surtout par de petites formes, peu variées peut-être, mais du moins extrêmement abondantes.

Ces petits Tabulés, en règle générale, entrent pour partie dans les constituants organiques des calcaires grenus (Calcaires à entroques et à Tabulés) où ils se trouvent mélangés à de nombreux fragments d'Echinodermes, de Polypiers branchus et de Brachiopodes, mais leurs fragments, très menus, échappent à l'examen à la loupe et au binoculaire ; et, sur le terrain, l'observateur les appellera de préférence « Calcaires à entroques ». De ce chef, ce facies m'intéresse peu ; je me contenterai de dire qu'il constitue des complexes importants vg. au niveau du marbre Caroline (carrière du Haut-Banc) — au-dessus du marbre Henriette (carrière du Petit Haut-Banc) — presque toute l'épaisseur de la carrière de Basse-Normandie entre les bancs en plaquettes du fond et le niveau dolomitique du sommet — le complexe silico-dolomitique, sous-jacent aux bancs dolomitiques à *Lithostrotion Martini* (carrière Hénaux de la Vallée Heureuse)... etc.

Ces Tabulés de petite taille peuvent former à eux seuls le fond et parfois même le constituant prédominant sinon exclusif de certains bancs calcaires que je dénommerai de ce fait « *Calcaires de Tabulés* » (cf. Pl. XVII, fig. 67). Les fragments de ces organismes y sont accumulés en lits superposés qui donnent au banc calcaire un aspect schistoïde. Ces petits lits sont soulignés par des dépôts argileux rubéfiés. Un type de ce facies se rencontre à la carrière du Haut-Banc, immédiatement superposé au marbre Caroline.

III. — MICROTEXTURE DES TABULES.

A. — Microtexture de Syringopora.

En section transversale et au faible grossissement, les tubes de *Syringopora* présentent des parois épaisses, brunâtres, d'allure fibreuse homogène à fibres parallèles à la surface et donc concentriques. Entre nicols croisés, ils donnent lieu à la formation d'une croix noire (cf. Pl. XVII, fig. 68) ; l'extinction ondule et se déplace sous forme d'une quadruple raie noire lorsqu'on met en mouvement la platine du microscope. Mais cette texture,qui paraît simple et homogène à un faible grossissément, se révèle plus complexe à un grossissement supérieur et constituée par une alternance de zones dans lesquelles les éléments cristallins sont dirigés radialement et d'autres où la texture, floue et indécise, est difficile à préciser.

Les premières sont formées d'individus de calcite allongés suivant le diamètre du tube, donc de prismes minces, allongés radialement. Cet aspect, beaucoup moins net en lumière naturelle, se révèle néanmoins à un grossissement convenable par des taches plus foncées, disposées elles aussi suivant le rayon du tube (matières organiques).

Dans les secondes, point de texture nette. Elles paraissent constituées par de fines lamelles de calcite, allongées tangentiellement à la surface. Elles s'éteignent par plages suivant le diamètre du tube, ce qui tendrait à faire croire, bien qu'aucune texture ne soit nettement visible ni aucun individu cristallin nettement individualisé, qu'elles sont constituées par des individus de calcite dont la section principale aurait même direction que la section principale du nicol. Ces zones à texture floue ne seraient-elles pas en définitive formées de fines lamelles ondulées dont les éléments cristallins prismatiques mais de dimensions très ténues échapperaient à l'observation?

La paroi murale des *Syringopora* est de structure lamellaire et de texture prismatique. Cette structure n'est pas homogène et il y a alternance de lamelles épaisses à texture prismatique et de lamelles plus fines à texture illisible. Dans les lamelles épaisses, l'extinction se produit suivant le diamètre du tube qui coïncide avec la direction d'allongement des prismes de calcite ; les lamelles fines s'éteignent, semble-t-il, par plages. Comme il n'y a pas interruption de la croix noire, il me paraît logique d'en déduire que ces lamelles fines sont constituées par des individus cristallins de même orientation générale que ceux des lamelles épaisses et de dimensions très ténues. Etant donné par ailleurs, que la texture prismatique ordinairement nette des lamelles épaisses peut, en certains points, disparaître plus ou moins complètement, cette hétérogénéité dans la texture ne serait-elle pas fonction d'un phénomène de recristallisation?

B. — Microtexture des petites formes. Faits d'observation.

Contrairement aux *Syringopora*, les petits Tabulés sont tous recristallisés.

Plusieurs aspects méritent d'être signalés ; je vais les exposer brièvement :

1. — Sections longitudinales des tubes.

a. — Il y a distinction nette des parties squelettiques (murs et planchers) et de la lumière du tube. Cette dernière est de calcaire granuleux (remplissage) tandis que le squelette est de calcite hyaline plus ou moins maculée de matières organiques. La recristallisation n'a intéressé que le squelette (cf. Fig. 22, a).

b. — Tout (charpente du tube et vides) est en calcite largement cristallisée ; la charpente de teinte foncée (matières organiques) tranche sur la teinte claire et l'aspect hyalin de la calcite qui remplit la lumière du tube (cf. Fig. 22, b). Le squelette reste visible en lumière

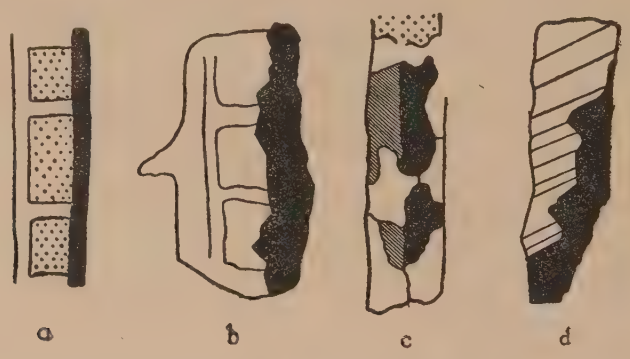


Fig. 22. — Fragments de Tabulés vus en lumière polarisée. En blanc, les portions du fragment qui sont à l'éclairement; — en noir, celles qui sont éteintes; — en ligné noir, les cristaux de teinte intermédiaire, qui ne sont ni à l'extinction complète ni à l'éclairement parfait; — en ponctué, le calcaire granuleux.

a) — Le squelette (murs et planchers) est conservé; le remplissage est de calcaire granuleux. Le fragment s'éteint en long; l'extinction se déplace de la droite vers la gauche.

b) — La recristallisation a atteint squelette et vides; la calcite qui entourait le fragment s'est orientée sur lui.

c) — Fragment remplacé par une mosaïque de cristaux dont les uns sont à l'éclairement (blanc), les autres à l'extinction (noir), d'autres enfin de teinte intermédiaire.

d) — Fragment recristallisé, montrant deux cristaux développés suivant la longueur.

polarisée, même à l'extinction, où il se profile sur le fond sous la forme d'une traînée plus noire. D'autres fois, la distinction du squelette et

des vides n'est plus possible, en lumière polarisée, qu'au maximum d'éclairement (où elle est faible) ; elle est nulle à l'extinction.

c. — Enfin, le fragment tout entier, d'aspect uni et hyalin ne montre, en lumière naturelle, aucune distinction de squelette ni de lumière (cf. Fig. 22, c et d). Dans ces deux derniers cas, la recristallisation s'est faite indistinctement aux dépens des lumières et des parois. Assez fréquemment même, les cristaux de calcite débordant le fragment de Tabulé ont continué à s'accroître vers l'extérieur aux dépens de la matrice (cf. Fig. 22, b).

En lumière polarisée, il y aura :

soit extinction en long par moitié, —

soit extinction de l'ensemble du fragment avec maximum qui se déplace d'un mur à l'autre ; donc extinction d'inégale intensité, extinction onduleuse (cf. Fig. 22, a), —

soit formation d'une mosaïque de cristaux plus ou moins nombreux, développés suivant la longueur du tube et qui s'éteignent et s'éclairent successivement (cf. Fig. 22, b, c, d), —

soit enfin extinction parfaite et d'un seul bloc.

2. — Sections transversales.

Les sections transversales correspondent aux sections longitudinales qui viennent d'être décrites. Les unes montrent une zone centrale granuleuse qui se distingue très nettement de la calcite hyaline qui constitue le reste ; d'autres, et c'est le plus grand nombre, de forme circulaire ou ovale, sont entièrement de calcite, hyaline au centre, d'aspect dépoli à la périphérie. Cette distinction est plus ou moins accentuée suivant les fragments ; les proportions relatives du canal central et des murailles varient également d'une section à l'autre.

En lumière polarisée, l'extinction se fait, soit d'un seul coup, soit en deux ou plusieurs fois ; parfois elle est oblique sur le plus grand diamètre (formes ovales).

Ces observations concordent, dans l'ensemble, avec ce que M. J. DE LAPPARENT a dit de ces organismes dans ses « Leçons de Pétrographie » : « primitivement en aragonite, ils (les Tabulés) ont été normalement transformés en calcite, et généralement en un petit nombre d'individus qui gardent la même orientation dans le sens de l'allongement du tube. De la calcite cristallise également à l'intérieur du tube en s'orientant comme celle de la paroi, dont le dessin, ainsi que celui des planchers est marqué, dans la masse de la calcite, par des granulations opaques » [146].

146. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — p. 278.

IV. — TABULES ET ECHINODERMES.

Mais, un problème se présente naturellement à l'esprit : peut-on différencier à coup sûr les fragments de Tabulés des fragments d'Echinodermes (Crinoïdes et Echinides) qui souvent s'y trouvent mêlés.

1. — Sections longitudinales.

Le problème est en partie soluble, en ce qui concerne les sections longitudinales, du fait de l'extinction et de la subsistance du schéma squelettique de l'organisme. Le seul cas qui puisse prêter à difficulté est celui des fragments dépourvus de tout caractère anatomique et qui présentent en même temps une extinction totale d'un seul bloc. Cet aspect aisément réalisable chez les Echinides (dépourvus de canal) et chez les Crinoïdes (canal central souvent réduit par rapport au squelette) ne serait possible chez les Tabulés que dans le cas assez rare où la lame mince intéresserait sur une certaine longueur les seules murailles ordinairement assez minces de ces organismes.

En dehors de ce cas extrême et qui ne se reproduirait pas assez fréquemment pour avoir quelque intérêt, on voit nettement à l'ordinaire en coupe longitudinale les murs et les planchers qui, se coupant à angle droit, donnent à ces fragments l'allure scalariforme.

2. — Sections transversales.

C'est donc surtout pour les sections transversales que le problème se pose, et pour celles-là seules qui s'éteignent d'un coup. Dans ce cas, et en l'absence de toute structure réticulée, un fragment ne pourra pas toujours être déterminé avec une absolue précision comme ressortissant au groupe des Crinoïdes ou à celui des Tabulés.

Dans les deux groupes en effet, des modes de fossilisation identiques se retrouvent. Le squelette du Crinoïde, originellement en calcite, est resté en calcite ; son canal, rempli au moment de la sédimentation par de la vase calcaire, se présente sous la forme d'un vide comblé par du calcaire granuleux. Dans certains cas, un vide étant resté ou s'étant produit dans le canal de l'article, de la calcite a pu s'y déposer secondairement et s'orienter suivant l'individu cristallin qui constitue cet article. En ce qui concerne les Tabulés, j'ai montré plus haut que les vides intertabulaires et intermuraux pouvaient être, eux aussi, remplis de calcaire granuleux ou de calcite hyaline.

Un fragment, de forme circulaire ou ovale, à canal central rempli de calcaire granuleux, si ce canal est de diamètre proportionnellement

très réduit et si ces fragments sont nombreux, sera présumé appartenir à un Crinoïde ; il n'y a guère de chance dans ces conditions que l'on ait affaire à une coupe de Tabulé, coupe qui passerait exactement par la perforation médiane du plancher.

Quant aux sections tout entières de calcite, parfaitement hyaline dans le canal, maculée de matières organiques dans les portions squelettiques, une légère différence s'observe qui ressort du fait même de la recristallisation, ordinaire chez les Tabulés. Le canal, toujours très net chez les Crinoïdes, quand il est visible, se distingue au contraire fort mal chez les Tabulés sous la forme d'une petite plage hyaline non pigmentée de matières organiques mais qui tranche néanmoins très peu sur les portions squelettiques ; on devine, on déduit l'existence du canal plus qu'on ne l'observe.

Conclusion.

Que conclure de tous ces faits, sinon que, s'il est impossible et téméraire de vouloir identifier *tous* les fragments organiques d'un calcaire à Tabulés ou d'un calcaire de Tabulés (ce qui, du reste, est superflu), on pourra toujours, ce me semble, rendre compte d'un ensemble, en se basant, d'une part, sur la taille des fragments, sur leurs caractéristiques anatomiques et leurs sections longitudinales — d'autre part, sur l'allure générale du sédiment qui, dans le cas de calcaires de Tabulés a une allure nettement schistoïde.

CHAPITRE IV.

BRACHIOPODES.

En dehors des deux rapports de CARPENTER [147], il n'a guère paru que des généralités touchant la microtexture des Brachiopodes. M. CAYEUX, dans son « Etude pétrographique des roches sédimentaires », étude originale et d'une haute valeur documentaire, se défend du reste d'avoir voulu donner autre chose qu'une vue d'ensemble sur les divers groupes d'organismes qu'il analyse [148].

Il m'a semblé, dans ces conditions, qu'une étude systématique des genres les plus importants du Calcaire carbonifère ne serait pas dénuée d'intérêt pour les pétrographes, et, par ailleurs, que le seul procédé vraiment satisfaisant était de partir d'exemplaires bien définis et en bon état de conservation. Faute de mieux, je me suis vu dans l'obligation de m'en tenir à l'étude des quelques genres *Productus, Orthis, Spirifer, Spirigera* et *Athyris,* que les collections de l'Institut ont pu me fournir dans un état de conservation suffisant pour espérer en tirer quelque chose du point de vue microtexture. On sait en effet que les tests fossiles sont souvent très mal conservés et incomplets, et que beaucoup ne sont, en réalité, que des empreintes. Encore ai-je été très contrarié, dans mes observations, par la silice qui, dans plus d'un cas, avait épigénisé le test et périmé la texture.

J'analyserai donc successivement ces différents genres [148a], et, par nière de conclusion, je comparerai les faits observés avec ceux établis par les savants qui se sont intéressés à la question.

147. CARPENTER W. B. — On the microscopic structure of shells. — *Brit. Assoc.*, 14e Rep., 1844, p. 1 à 19, pl. 12 à 18 ; et 17e Rep., 1847, p. 93 et 94, pl. 1.

148. CAYEUX L. — Etude pétrographique des roches sédimentaires. — 1916, p. 459 à 469.

148a. Aux fossiles carbonifères j'en ai joint deux ou trois autres à titre de comparaison.

Pour éviter les confusions qu'amèneraient les dénominations de valve ventrale et de valve dorsale du fait du peu d'accord des savants sur la question (LEOPOLD DE BUCH et QUENSTEDT d'une part, R. OWEN, WOODWARD, HANCOCK et DAVIDSON d'autre part), je me rangerai à l'avis de ZITTEL : « Pour écarter de perpétuelles confusions, il est souverainement important de renoncer à ces dénominations » (de valve ventrale et dorsale, supérieure et inférieure) « et d'usurper, pour dénommer les deux valves, les termes de *grande valve* et de *petite valve* » [149].

De plus, dans mes descriptions, je qualifierai de coupe longitudinale toute section droite ou oblique de la coquille orientée du crochet (région supérieure ou postérieure) vers le bord frontal, la largeur étant représentée par la ligne des ailes et la direction générale de la charnière.

I. — DESCRIPTION DE QUELQUES GENRES ET ESPECES.

A. — Productus semireticulatus.

Cette espèce présente une section longitudinale très arquée, en virgule ou en croissant, à grande valve convexe et petite valve concave. Une coupe longitudinale du fossile montre de l'extérieur à l'intérieur :

1. — une couche (extérieure) d'aspect chevelu, ondulée ou froncée suivant les places, à course parallèle à la surface,

2. — une couche prismatique épaisse à longs prismes droits,

3. — un liseré noir, granuleux, très riche en matières organiques, au sein duquel se sont individualisés de nombreux petits prismes de quartz secondaire,

4. — une zone dépolie, granuleuse, souillée de matières organiques, épaisse au centre et s'amincissant en direction du bord frontal et du crochet,

5. — le centre de la coquille est occupé par une calcite de remplissage, secondaire, en large mosaïque.

A quelques détails près et par ailleurs accessoires, cette succession qui s'observe dans une coupe en épaisseur de la grande valve

149. « Zur Vermeidung beständiger Verwechselungen ist es am zweckmässigsten, auf diese Bezeichnungen ganz zu verzichten und die beiden Klappen als *grosse* und *kleine* zu unterscheiden ». cf. ZITTEL K. A. — Palaeozoologie, 1876-1880, Bd. I, p. 649.

menée de la surface du test vers le centre de la coquille se retrouve en profondeur de la petite valve. Il est de toute évidence que les couches 5, 4 et 3 sont des couches secondaires.

La couche prismatique (couche n° 2), selon moi, est de même caractère et n'entre pas dans la constitution du test. Elle n'existe pas dans la région du crochet et le tiers postérieur de la coquille, où elle est remplacée par un calcaire granuleux d'Ostracodes (entiers ou en esquilles) chargé de matières organiques. Très nette sous la couche lamellaire

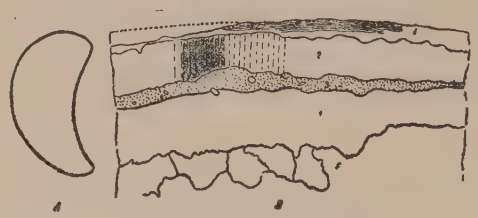


Fig. 23. — Structure de *Productus semireticulatus*.
En A, profil de la coquille; — en B, coupe.
1, Couche lamellaire (test de la coquille); — 2, Couche prismatique à longs prismes de calcite secondaire; — 3, Liseré de calcaire granuleux à nombreux petits quartz secondaires; — 4, Calcite en fine mosaïque et calcaire granuleux de remplissage; — 5, Calcite secondaire de remplissage en large mosaïque.

de la grande valve, la prismatisation s'estompe et devient invisible sous la petite valve. Il semble que là cette couche n° 2 soit de texture granuleuse ; il n'en est rien, car un examen attentif met en évidence des extinctions linéaires, normales à la couche chevelue (n° 1). L'assimilation de cette couche à texture indistincte à la zone prismatique 2 de la grande valve est encore renforcée du fait que, sous cette dernière, s'observait le passage d'une région à prismatisation très nette (moitié antérieure du fossile) à une autre région de texture floue et apparemment granuleuse.

La seule de ces couches qui appartienne au test est la couche superficielle. Vue sous un faible grossissement, elle prend un aspect chevelu ; mais, en réalité, sa structure est lamellaire, ces lamelles n'étant autre chose que des prismes aplatis, couchés et allongés du crochet vers le bord frontal de la coquille. Pour l'ordinaire, la texture de ces lamelles est indistincte et l'extinction s'observe mal ; elles s'éteignent par groupes et par portions restreintes quand leur direction d'allongement coïncide avec les fils du réticule. Cependant, à peu de distance du crochet, on voit, dans l'épaisseur de la grande valve, s'intercaler des lamelles épaisses à texture prismatique ; ces prismes nettement individualisés, droits ou coudés, s'éteignent en long suivant la normale à la surface du test ou suivant une direction légèrement oblique sur cette surface. Il

m'est impossible de préciser l'extension de ces lamelles épaisses à texture prismatique tant dans la région du crochet que vers le bord frontal, le test n'ayant subsisté qu'en une portion étroite de la coquille. J'en ai néanmoins retrouvé des vestiges sur la petite valve où ces lamelles sont moins développées. Au-dessus et au-dessous de ces lamelles épaisses à texture prismatique, on retrouve, dans la région du crochet, la couche lamellaire ; aussi y a-t-il lieu de croire que cet épaississement est localisé dans la région du crochet et destiné à renforcer, en ce point, la coquille.

Somme toute, *Productus semireticulatus* ne montre, comme entrant *essentiellement* dans la constitution de son test, *qu'une seule couche, de structure lamellaire.* Ces lamelles, parallèles à la surface du test, sont constituées par de longs prismes aplatis et couchés ; elles s'éteignent en long et par plages.

B. — Productus pustulosus.

La coquille, remplie de vase calcaire consolidée (calcaire granuleux), ne présente pas la succession de couches décrites chez *Prod. semireticulatus ;* ce qui me confirme dans l'opinion émise plus haut que la couche prismatique n° 2 observée chez *Prod. semireticulatus* est secondaire et en tout analogue aux revêtements cristallins de la surface interne des géodes.

Le test est réduit ici à *la seule couche lamellaire externe* profondément épigénisée par de la silice tant sur sa surface interne que sur sa surface externe; aussi ne puis-je m'appesantir sur la microtexture de

Fig. 24. — Structure de *Productus pustulosus.* Coquille fortement épigénisée par la silice sous forme de quartz et de calcédoine (cf. 1, hâchures).
En 2, couche lamellaire externe à lamelles parallèles à la surface, très fines et fortement ondulées.
En 3, couche granuleuse due au remplissage de la cavité du fossile par de la vase calcaire.

cette couche lamellaire. Comme chez *Prod. semireticulatus,* les lamelles courent parallèlement à la surface du test ; elles ne se soulèvent pas en fronces mais esquissent des ondulations accentuées, de véritables plis à grande courbure. Elles s'éteignent suivant leur allongement.

C. — Orthis resupinata.

Une abondante silice de remplacement a altéré profondément la texture du test et encombre la cavité du fossile. A la limite du test et du remplissage secondaire, ont pris naissance des cristaux de calcite en prismes aigus qui pointent vers l'intérieur de la coquille.

Ici encore, pas d'autre couche que la *couche lamellaire superficielle;* mais les lamelles sont obliques sur la surface interne du test avec laquelle elles font un angle approximatif de 15 degrés. Ces lamelles s'éteignent suivant leur allongement. Dans la région du crochet, les lamelles se recourbent en sens inverse de leur direction normale.

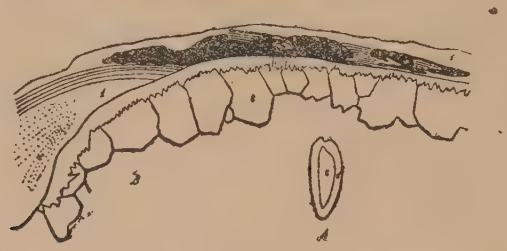


Fig. 25. — Structure d'*Orthis resupinata.*
En A, profil de la coquille; — en B, coupe.
Test fortement épigénisé par de la silice, laissant voir, par places, des vestiges de la couche lamellaire (1). Les lamelles, obliques sur la surface interne de la coquille, font avec cette surface un angle approximatif de 15 degrés.
Le vide intervalvaire (2) est de quartz en mosaïque. A la limite du test et du vide intervalvaire, de petits prismes de calcite.

D. Spirifer Verneuilli.

Cette espèce montre, en section longitudinale, une *structure lamellaire* très régulière. Homogène dans l'ensemble de la coquille, elle est interrompue sur la grande valve, dans la région du crochet et le premier

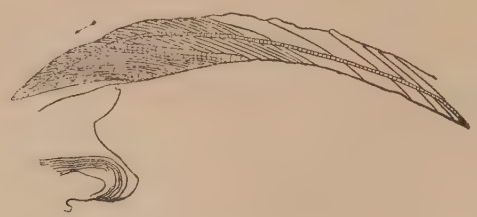


Fig. 26. — Structure de *Spirifer Verneuilli.* La couche lamellaire est interrompue, dans la région du crochet, par une couche prismatique qui se bifurque bientôt et dont les branches viennent mourir à la surface interne de la coquille, sans atteindre le bord frontal. La flèche indique la position du crochet.

tiers postérieur du test par *une lame plus épaisse et différente d'aspect.* Cette lame, d'abord simple, se divise bientôt en deux lames d'inégale

épaisseur qui viennent mourir l'une derrière l'autre à la surface interne de la couche lamellaire ; leur texture est floue et indécise, mais je la crois prismatique.

Les lamelles, très régulières et à ondulations très faibles, sont inclinées de 13° environ sur la surface interne de la coquille. L'angle d'extinction varie avec les portions du test: dans certains cas, l'extinction est à son maximum quand la lamelle fait un angle de 20° environ avec les fils du réticule ; d'autres lamelles au contraire s'éteignent suivant l'allongement ou à fort peu de chose près.

E. — Spirifer tornacensis.

Le test, si l'on complète les unes par les autres les observations faites en divers points, se montre composé de deux couches :

l'une, *externe, formée d'éléments obliques et prenant l'aspect d'une chevelure,*

l'autre, *interne, constituée par des prismes* normaux à la surface du fossile.

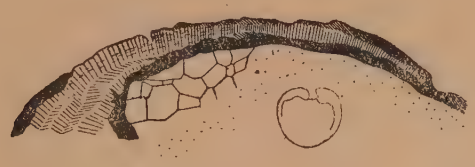


Fig. 27. — Structure de *Spirifer tornacensis.* La coquille présente, dans son épaisseur, au minimum deux couches: une couche lamellaire externe que l'on rencontre dans toutes les coquilles de Brachiopodes, et une couche prismatique plus épaisse que chez *Sp. verneuilli.* L'épigénisation de la coquille par la silice (portions laissées en noir) ne permet pas de préciser si cette couche prismatique atteint le bord frontal ; mais c'est fort peu probable.

Cette dernière couche, très épaisse dans la région du crochet, va en s'amincissant du crochet vers le bord frontal. Atteint-elle ce bord frontal? la retrouve-t-on à la petite valve? ce sont là deux précisions sur lesquelles je ne puis me prononcer ; la suivre m'a été impossible, car le test du *Spirifer tornacensis* observé était rongé sur ses deux faces externe et interne et la calcite en avait été plus ou moins complètement remplacée par de la silice. Les prismes sont grêles et montrent une extinction droite ; ils s'étendent d'une seule venue sur toute l'épaisseur de la couche prismatique.

Il semble qu'un rapprochement soit à faire de la coquille de *Spirifer tornacensis* avec celle de *Spirifer Verneuilli,* bien que l'altération par

la silice m'empêche de l'affirmer absolument. On a l'impression que la couche prismatique est interrompue par des couches lamellaires ou, ce qui revient au même, que la couche prismatique se divise et que ses branches viennent mourir l'une derrière l'autre sur la surface interne de la coquille.

Quant aux éléments de la couche lamellaire externe, ils sont très réguliers dans leur allure et ne présentent pas d'ondulations. Ce sont des lamelles couchées obliquement sur la couche prismatique et faisant avec elle un angle approximatif de 10 à 15 degrés.

La structure est encore plus compliquée dans la région du crochet, comme on en jugera par le schéma ci-joint. On y distinguera une alternance régulière de zones à texture lamellaire et à texture prismatique et on remarquera que la silice a fait disparaître une partie de la zone prismatique et toute l'épaisseur de la zone lamellaire la plus superficielle.

F. — Spirigera globularis.

Chez *Spirigera globularis*, la structure de la coquille rappelle celle de *Spirifer tornacensis* et de *Sp. Verneuilli ;* mais les deux couches lamellaire (externe) et prismatique (interne) persistent, sur les deux valves, du crochet au bord frontal.

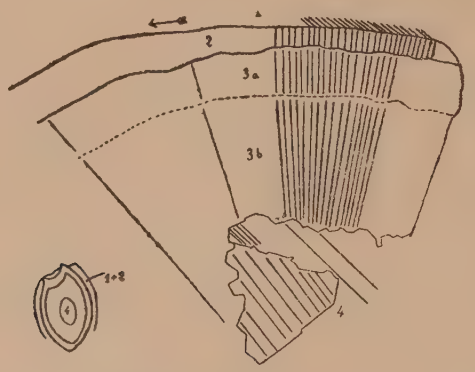


Fig. 28. — Structure de *Spirigera globularis*. La flèche indique la direction du crochet.
1, Couche lamellaire; — 2, Couche prismatique hyaline de la coquille; 3a et 3b, Couche prismatique de remplissage, brune et chargée de matières organiques; — 4, Calcite secondaire de remplissage du vide central de la coquille.

La couche externe, lamellaire, à lamelles obliques et inclinées d'environ 20° n'a été observée par moi avec netteté et certitude que sur la petite valve ; mais elle existe sûrement aussi sur la grande. Des deux

couches, c'est la seule qu'on observe constamment dans les fragments de Brachiopodes.

La *couche interne* prismatique *à longs prismes droits* et d'une venue est très développée ; son épaisseur est ici considérablement augmentée du fait d'une cristallisation, secondaire et de remplissage, en longs prismes qui se sont orientés sur ceux de la couche interne du test. Il est aisé néanmoins d'en faire le départ, car la portion qui revient à la coquille est hyaline et transparente, tandis que celle qui s'y est surajoutée est opaque, brune et chargée de matières organiques.

La couche prismatique s'observe ici sur la petite valve comme sur la grande ; très développée dans la grande valve, elle est d'épaisseur beaucoup moindre dans la petite — dans les deux, l'épaisseur augmente en direction du crochet. S'étend-elle du crochet au bord frontal ou constitue-t-elle un renforcement local? Je ne puis préciser avec certitude, mais, comme je l'ai retrouvée dans les portions conservées du test, on peut, me semble-t-il, présumer en faveur de la première alternative.

G. — Athyris Levellei.

Avec *Athyris Levellei*, j'aborde des Brachiopodes à structure encore plus complexe ; cette structure variant avec les portions de la coquille, je me propose, pour éviter toute confusion dans la description, d'analyser successivement ces différentes portions. Je m'en tiendrai à la valve qui porte le crochet, l'autre valve n'ayant pas conservé sa texture dans l'échantillon étudié.

1. — Dans la région du crochet, la coquille comprend de l'extérieur vers l'intérieur deux couches : l'externe à prismes verticaux (couche n° 2 sur le schéma), l'interne à prismes couchés et courbes, très épaisse dans

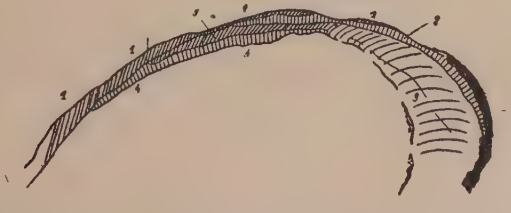


Fig. 29. — Structure d'*Athyris Levellei*. Le crochet est situé du côté droit. 1, Couche lamellaire externe (conservée chez tous les Brachiopodes fossiles) ; — 2, Couche prismatique externe; — 3, Couche lamellaire interne; — 4, Couche prismatique interne.

La seule qui persiste du crochet au bord frontal est la couche 1. Y a-t-il, en réalité, 4 couches (2 lamellaires et 2 prismatiques), ou une couche lamellaire externe et une couche prismatique, double dans la région du crochet (cf. schéma 2 et 3), et dont la lame interne se diviserait pour donner les branches 3 et 4.

la région du crochet (couche n° 3) et qui ira en s'amincissant vers le bord frontal sans l'atteindre. La coquille examinée était silicifiée dans la

région du crochet ; la silicification a fait disparaître la couche la plus superficielle et périmé la couche n° 2 qui ne s'observe qu'en de rares points.

2. — Un peu plus loin dans la direction du bord frontal, trois couches se succèdent de l'extérieur vers l'intérieur :

a. — une couche à prismes fins couchés (couche n° 1) que j'appellerai « *lamellaire externe* » ; lamellaire, en raison de son allure d'ensemble et pour la différencier des couches à prismes verticaux (couches prismatiques), — externe, pour la distinguer de la couche n° 3.

b. — la couche *prismatique* (n° 2).

c. — la couche « *lamellaire interne* » (cf. schéma, couche n° 3).

3. — Quand, se dirigeant toujours du crochet vers le bord frontal, on a dépassé le milieu de la coquille, on voit s'ajouter en profondeur une quatrième couche (couche n° 4), constituée par des prismes verticaux ou *couche prismatique interne.*

4. — Un peu plus loin, la couche n° 2 « prismatique externe » disparaît et on voit se fusionner les couches 1 (lamellaire externe) et 3 (lamellaire interne). La couche prismatique profonde (n° 4) finit elle aussi par disparaître et il semble que, dans sa région frontale, la valve qui porte le crochet soit réduite à une seule couche formée de prismes couchés, obliques sur la surface interne de la coquille.

Deux détails de cette structure complexe restent quelque peu énigmatiques : la couche unique, de structure lamellaire, qui constitue la coquille dans sa région frontale représente-t-elle la seule lamellaire externe (couche n° 1) ou les deux lamellaires, externe et interne (couches 1 et 3) fusionnées? Autrement dit, cette fusion est-elle réelle ou seulement apparente? Quant aux couches lamellaire interne et prismatique interne (n° 3 et 4), constituent-elles réellement deux couches indépendantes ou représentent-elles la seule couche lamellaire interne (n° 3) dont les prismes constituants varieraient d'allure?

5. — A toutes ces couches, il faudrait ajouter la *couche prismatique superficielle* qui fait ordinairement défaut et que j'ai figurée à la planche XVII (fig. 69 et 70).

Ce fossile, comme les autres, était très altéré, dans sa texture et sa structure même, par un phénomène d'épigénie de la calcite par la silice. A part la région du crochet remplie d'une boue calcaire à tendance grumeleuse et chargée de matières organiques, la cavité de la coquille était remplie de quartz en large mosaïque ; au niveau de séparation du test et du remplissage, le quartz avait cristallisé sous forme de petits prismes pointus à direction intérieure.

H. —

Un autre Brachiopode, jeune encore et mesurant 3 mm 5 de longueur, rencontré dans un calcaire grenu sous-jacent aux dolomies et calcaires dolomitiques à *Lithostrotion Martini*, et présentant une section longitudinale analogue à celle d'*Athyris* et un bord frontal retroussé, montre, dans le voisinage du crochet, une succession de trois couches alternativement lamellaire (couche lamellaire externe), prismatique et lamellaire (couche lamellaire interne) qui rappelle étonnamment le fossile précédemment décrit.

Cette succession se retrouve à la petite valve dans la région postérieure, mais comme elle n'existe que dans cette portion du test, la question peut se poser de savoir si elle ne joue pas un rôle de renforcement de la coquille dans le voisinage de la charnière. Vers le second tiers de la grande valve, le test ne comprend plus que deux couches, la couche lamellaire externe et la couche prismatique, ici plus épaisse et qui s'en va s'amincissant en direction du bord frontal où, me semble-t-il, seule subsiste la couche lamellaire externe.

II. — STRUCTURE DES BRACHIOPODES.

A. — Les espèces de Brachiopodes dont je viens d'étudier la structure et la microtexture doivent légitimement se répartir en trois grands groupes :

1er *Groupe :*

Brachiopodes ne présentant *qu'une seule couche*, qui toujours est représentée par *la couche lamellaire*. Ces lamelles ont une course parallèle à la surface du test (*Productus*) ou sont inclinées sur cette surface (*Orthis*) suivant un angle qui, du reste, peut varier.

2e *Groupe :*

Brachiopodes présentant dans l'épaisseur de leur test *deux couches :* une couche lamellaire (externe) et une couche prismatique, cette dernière pouvant être réduite en étendue (*Spirifer Verneuilli*), très étendue du crochet vers le bord frontal (*Spirifer tornacensis*), ou même continue (*Spirigera globularis*).

3e *Groupe :*

Brachiopodes à test composé de *plus de deux couches*, au moins dans la région de la charnière et la moitié postérieure de la coquille (*Athyris Levellei*).

Il semble que, dans toute coquille de Brachiopode, même la plus simple de structure, il faille admettre au moins deux couches : la couche lamellaire qui est toujours conservée, et une couche prismatique extérieure à la couche lamellaire qui, dans la majorité des cas, a com-

plètement disparu. J'ai représenté dans les figures 69 et 70 de ma planche XVII, une section longitudinale d'un Brachiopode appartenant au premier groupe et montrant cette couche externe en place. Elle n'est conservée que sur la grande valve ; elle s'est décollée de la couche lamellaire sous-jacente et a glissé sur la région postérieure de la coquille. Une moitié s'appuie encore sur cette coquille, l'autre se profile dans le sédiment sous la forme d'un ruban blanchâtre sinueux ou plus ou moins morcelé. Sa texture est des plus nettes et prismatique ; les prismes à peu près aussi longs que larges sont striés par des granulations de nature organique. Si on ne les retrouve pas dans les sédiments calcaires, c'est vraisemblablement parce qu'ils sont de petite taille et parce que le ruban doit, en se morcelant, individualiser les éléments prismatiques qui le composent.

B. — La structure des Brachiopodes à charnière n'est donc pas aussi simple que l'ont décrite CARPENTER, et, d'après lui, ZITTEL. Tous deux ne mentionnent qu'une seule couche formée de prismes « (dont) les extrémités aplaties sont, à la surface interne de la coquille, étroitement juxtaposées ou se recouvrent à la manière d'écailles » [150]. C'est celle que j'ai appelée couche chevelue, couche lamellaire externe. ZITTEL fait bien allusion à une seconde couche, intérieure à cette couche lamellaire, mais il insiste sur ce double fait qu'elle est de « structure analogue » et qu'on ne la rencontre que chez les vieux individus. C'est donc de toute évidence une couche de simple épaississement dont on ne peut tenir compte dans l'étude de la microtexture des Brachiopodes.

M. CAYEUX et M. J. DE LAPPARENT [151] signalent deux couches. M. CAYEUX, dans son étude des *Magellania* dont il existe, à côté d'individus fossiles, des formes encore vivantes, signale la présence de deux couches : une couche interne « que j'appellerai couche prismatique, ...formée de prismes... toujours inclinés sur la surface... (et qui) traversent la coquille en biais avec une orientation constante ou non dans une coquille donnée... » et une « couche calcaire externe, formée de lames parallèles, perpendiculaires à la surface ». Il ajoute un peu plus loin «Mes préparations tirées de *Magellania Grayi* font supposer que cette structure lamellaire n'existe pas toujours » [152]. Malgré les apparences, ce que j'ai dit de la structure et de la texture des Brachiopodes concorde

150. « (deren) abgeplatteten Enden liegen an der Innenfläche der Schale dicht neben einander oder auch schuppig über einander ». cf. ZITTEL K. A. — Handbuch der Palaeontologie, T. I. Palaeozoologie, P. I, p. 655.

151. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — 1923, p. 281.

152. CAYEUX L. — Introduction à l'étude pétrographique... — 1916, pp. 464, 465.

avec les vues de M. CAYEUX ; sa couche interne prismatique correspond à ma couche interne lamellaire et chevelue, sa couche externe lamellaire à ma couche externe prismatique, celle qui, normalement, a disparu et que j'ai photographiée (cf. Pl. XVII, fig. 69 et 70).

A ces structures, il faut ajouter celles que j'ai décrites à l'occasion du *Spirifer Verneuilli* (moitié postérieure de la grande valve), celle d'*Athyris Levellei* et la structure anonyme que j'ai analysée sous la lettre H.

C. — J'ai surtout insisté sur la structure des Brachiopodes et fort peu sur la texture ; il y avait en effet peu de chose à dire touchant la texture de la couche prismatique, et, en ce qui concerne la texture de la couche lamellaire, j'ai dit l'essentiel, en affirmant que le sens de l'extinction est variable, celle-ci se faisant tantôt suivant l'allongement de la lamelle, tantôt obliquement sur cette direction. M. CAYEUX en a du reste fait une étude minutieuse.

Non seulement le sens de l'extinction varie et, de ce chef, ce détail ne saurait être caractéristique ; mais, de plus, il est souvent malaisé à préciser avec certitude. Cela tient probablement aux macles mécaniques produites lors de la confection de la lame mince, macles analogues à celles qui affectent souvent les cristaux de calcite en large mosaïque.

III. — BRACHIOPODES ET LAMELLIBRANCHES.

Dans son rapport de 1844, au par. IX qui a trait aux Brachiopodes, CARPENTER affirme: « leur structure est, dans presque chaque cas, tout à fait distincte de celle des Lamellibranches ; si bien que, comme je le montrerai bientôt, des fragments même amorphes de coquille de Brachiopode pourraient être rapportés avec certitude à ce groupe, à la seule condition que le métamorphisme ne les ait pas altérés » [153].

En effet, structure et texture varient dans les deux groupes. La structure chez les Lamellibranches est inverse de ce qu'elle est chez les Brachiopodes, la couche lamellaire étant interne [154] ; quant à la texture de la

153. « Their structure is, in almost every instance, quite distinct from that of the shells of the Lamellibranchiate bivalves ; so that, as I shall presently show, even amorphous fragments of shell may be referred with certainty to this group, when not altered by metamorphic action ». cf. CARPENTER W. B. — *Brit. Assoc.*, 14e Report, 1844. p. 16.

154. dans ma façon de parler, je suppose ici absente la couche externe qui est normalement absente chez les Brachiopodes fossiles.

couche lamelleuse, uniforme dans ce dernier groupe, elle l'est au contraire fort peu chez les Lamellibranches, comme l'a mis en évidence M. CAYEUX.

Il sera donc toujours facile de différencier un fragment de Brachiopode d'un fragment de Lamellibranche ; mais sera-t-il possible de différencier les uns des autres les Brachiopodes, du moins les genres les plus importants? De ce que j'ai dit plus haut, il semble qu'on ne le pourra que pour des fragments importants de valve, sauf le cas où le test ne comporte que la couche lamellaire externe, — et peut-être aussi pour des fragments menus mais étroitement localisés, ce qui diminue beaucoup les chances de rencontre.

CHAPITRE V.

CEPHALOPODES.

Les formes auxquelles je consacre ce chapitre appartiennent toutes à l'Ordre des *Tetrabranchiata*. Ce travail étant essentiellement un travail de pétrographie, je n'essaierai pas de définir les genres et les espèces ; il me suffira en effet de préciser à quel sous-ordre ils appartiennent et s'il faut en faire des Nautiloïdes ou des Ammonoïdes.

J'exposerai successivement les principales caractéristiques morphologiques et anatomiques que peut fournir l'examen en lames minces ; après quoi, je passerai à l'étude de la microtexture ; j'essaierai enfin, en m'appuyant soit sur les caractères morphologiques et anatomiques des sections, soit sur leur microtexture, soit sur l'ensemble de ces caractères, de préciser à quel sous-ordre de Céphalopodes tétrabranchiaux ces organismes se rattachent.

I. — MORPHOLOGIE ET ANATOMIE.

A. — Les individus, à en juger par les sections qu'ils fournissent en lame mince, sont enroulés en spirale et cette spirale est nettement dissymétrique. Les sections qui s'observent en effet le plus fréquemment, se présentent sous la forme de boyaux courbes plus ou moins longs (cf. Pl. XIX, fig. 82 et 83) ; ce n'est qu'exceptionnellement que j'ai pu observer un tour complet de spire et jamais davantage (cf. Pl. XIX, fig. 84).

J'ai l'impression qu'il faut rapprocher des organismes dont il est ici question, — 1° les organismes « en forme de haricot » (bean-shaped organisms) auxquels M. E. J. GARWOOD et Miss E. GOODYEAR ont fait allusion dans leur description de la « Lower Carboniferous succession in the Settle district » et figurés à la planche XIX sous le numéro 3 en compagnie de *Girvanella* dans des nodules caractéristiques de la zone D^2 (cf. Q. J. G. S., t. LXXX, 1924) — 2° et les vermiculites représentées à la figure 65 de la planche XV par M. F. KAISIN dans sa « Contribution à l'étude des caractères lithologiques et du mode de formation des

roches calcaires de Belgique » (Mém. Acad. roy. de Belgique, 2e Série, t. VIII, 1926-27).

B. — La coquille, en coupe, se montre constituée de deux couches : l'une externe, claire et très mince, l'autre interne et opaque, croissant en épaisseur à chaque nouveau cloisonnement de l'animal (cf. Pl. XIX, fig. 84).

Dans un certain nombre de cas, les cloisons ont disparu ; quelques sections les montrent conservées, soit en bon état et avec leur structure, soit à l'état de schème. Deux sections seulement, dans l'énorme matériel passé en revue, m'ont fourni le goulot siphonal (cf. Pl. XIX, fig. 82 et 84). Ce goulot, situé au centre de la cloison, est le seul vestige qui soit resté du siphon ; ce siphon était intermédiaire et son goulot siphonal à direction antérieure. Les cloisons sont concaves et à concavité antérieure.

La section dont je me propose de faire la description, est incomplète ; ses deux extrémités antérieure et postérieure ont été détruites à la suite d'un phénomène de recristallisation de la matrice. La portion conservée, par la seule augmentation en épaisseur de la coquille au fur et à mesure de l'adjonction des cloisons nouvelles, m'a permis néanmoins de définir la partie antérieure de l'animal et, en conséquence, la direction de son goulot siphonal, qui est, sans aucun doute, à direction antérieure. J'ai dit plus haut que le siphon est intermédiaire ; cela s'entend bien entendu du cas particulier que j'ai décrit et photographié (Pl. XIX, fig. 84) et je n'entends nullement affirmer que le siphon est toujours intermédiaire, et pas davantage que le goulot siphonal est toujours à direction antérieure. Cette généralisation ne m'est pas permise, faute de documents suffisants.

C. — Du reste, aucun des caractères fournis par l'observation ne dirime le problème ; bien au contraire, les précisions que j'ai recueillies touchant la cloison et le goulot siphonal le compliquent plutôt. Voici en effet ce que dit BRANCO :

« La cloison transversale se présente, en coupe médiane, sous la forme d'une ligne arquée à convexité antérieure chez les Ammonites, les latisellés, et une partie des Goniatites asellées. Elle est à concavité antérieure dans les autres (la majorité?) Goniatites asellées, chez les Nautilides, les Spirulides et les Bélemnitides. »

« Le goulot siphonal est, chez toutes les Goniatites, les Nautilides, les Spirulides et les Bélemnites dirigé vers l'arrière ; dans le genre *Aulacoceras*, il est à direction antérieure. Chez les Ammonites (en est-il ainsi

chez toutes?), il est, chez les jeunes, dirigé en arrière et, plus tard, dirigé vers la partie antérieure de l'animal » [155].

II. — GISEMENTS.

Il n'est pas rare de rencontrer des sections de ces petits Céphalopodes à l'état isolé dans certains facies spéciaux v. g. calcaires à organismes (végétaux problablement) et calcaires grumeleux.

Mais, ce qui est plus intéressant, on les trouve à certains niveaux par véritables nichées, par exemple au niveau du marbre Henriette et à la base de ce banc où certains individus sont encroûtés par des tubulures du type *Polymorphocodium*, et même par naissains entiers (cf. Pl. XIX, fig. 82) constituant un véritable banc (banc superposé au Lunel n° 1 ou Rubané Notre Dame). Ce dernier facies se retrouve à Namèche (Belgique) dans le Viséen supérieur sous la forme d'un calcaire noir compact et vacuolaire dans lequel grouillent de petits organismes analogues (cf. Pl. XIX, fig. 83).

III. — MICROSTRUCTURE ET MICROTEXTURE DE LA COQUILLE.

A. — Faits d'observation.

Plusieurs cas sont à distinguer ; je me propose de les décrire et, s'il y a lieu, j'en essaierai ensuite l'interprétation et la synthèse.

1^er^ cas :

Les deux couches, dont l'ensemble constitue la coquille, sont visibles et très distinctes l'une de l'autre. La couche interne, qui forme les cloisons et le revêtement des loges, est épaisse, opaque et d'allure chevelue ; son épaisseur, sa teinte et son allure la différencient aisément et au premier coup d'œil de la couche externe qui se présente, elle, sous la forme d'un fin liseré blanc, hyalin, et sans structure apparente (cf. Pl. XIX, fig. 82 et 84).

155. « Die Querscheidewand bildet im Medianschnitte eine nach vorn convex gebogene Linie bei den Ammoniten, den latisellaten und einem Teile der asellaten Goniatiten. Nach vorn concav ist sie bei dem Reste (den meisten?) der asellaten Goniatiten, bei den Nautiliden, den Spiruliden und Belemnitiden.

« Die Siphonaldüte ist bei allen Goniatiten ebenso wie bei Nautiliden, Spiruliden und Belemniten nach hinten gerichtet ; bei dem Belemnitiden-Geschlechte Aulacoceras jedoch steht sie nach vorn. Bei den Ammoniten (ob bei allen?) ist sie in der ersten Jugend gleichfalls nach hinten, später aber nach vorn gerichtet ». cf. BRANCO. — Beiträge zur Entwickelungsgeschichte der fossílen Cephalopoden. Teil II, *Palaeontographica*, vol. 27, p. 78.

A un fort grossissement (7=500 diam.) et entre nicols croisés, *la couche externe* se décompose en de nombreux petits individus de calcite de forme irrégulière et sans orientation définie. C'est à proprement parler une mosaïque et l'équivalent de la couche celluleuse dont parle M. CAYEUX [156] dans sa description du test de *Nautilus* (cf. Pl. XIX, fig. 87).

La couche interne, à un grossissement de 265 diamètres environ, présente dans son épaisseur une succession de bandes alternativement plus sombres et plus claires, qui donnent à l'ensemble une vague allure lamelleuse. A un grossissement supérieur (7=500 dm), une de ces bandes m'a paru formée d'une mosaïque de petits cristaux masquée par des granulations de carbonate de calcium en forme de paillettes, droites ou ondulées en vermicelle ; c'est à l'accumulation et au tassement de ces paillettes que seraient dues les bandes plus sombres. Enfin, si l'on examine la texture au moyen d'un objectif à immersion, on voit se dessiner sur le tout, sans distinction de zones claires ou sombres, un réseau noir, assez flou et à mailles irrégulières qui peut être dû à la réfraction de la lumière transmise sur les bords des cristaux qui constituent la mosaïque du fond, mosaïque qui est masquée plus ou moins suivant les places par les granulations en forme de paillettes ou de vermicelle (cf. Pl. XIX, fig. 84 et les agrandissements 86 (lumière naturelle) et 87 (lumière polarisée).

C'est là, pour moi, la texture typique et normale de ces organismes. C'est celle que m'a fourni la section qui avait conservé intactes sa cloison et son goulot siphonal ; et c'est le cas le plus fréquent que m'ait fourni, en lame mince, l'étude du naissain superposé au Rubané Notre-Dame.

2e cas. — Sections à test épais, homogène, et tout entier d'aspect hyalin.

Le test montre parfois une tendance accentuée à se dilaminer, à se réduire en multiples écailles (cf. Pl. XX, fig. 88 et 90). A première vue, il semble qu'il n'y ait ici qu'une seule couche d'une certaine épaisseur et qui serait l'analogue de la couche interne décrite dans le premier cas. Mais un examen attentif de la limite extérieure de certaines coquilles m'a fait découvrir en certains points de sa surface une couche relativement mince, foncée et granuleuse, qui tranche par son aspect et par sa teinte sur la couche interne qui lui est sous-jacente (cf. Pl. XX, fig. 90, la couche granuleuse, fine et plus foncée, qui limite extérieurement la coquille).

156. CAYEUX L. — Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. — p. 490 à 495.

Cette couche externe, qui est, en certains points seulement, bien conservée et bien individualisée, se distingue assez malaisément du calcaire granuleux de la matrice dont elle est séparée par une ligne foncée. A un grossissement de 500 diamètres et entre nicols croisés, elle m'a semblé constituée par une fine mosaïque de granules de carbonate de calcium. Au grossissement employé, cette mosaïque se distingue aisément de celle de la matrice dont le grain est plus grossier.

La couche interne, qu'elle soit d'une venue et homogène, ou de structure écailleuse et lamellaire, est hyaline et sans texture apparente en lumière naturelle. En lumière polarisée analysée, elle s'éclaire mal et donne l'impression d'une mosaïque dont les éléments ont pu, par places, s'orienter plus ou moins dans le sens radial (cf. Pl. XX, fig. 91 en lumière naturelle et 92 en lumière polarisée analysée).

3° cas :

Il existe enfin des sections dont l'épaisseur se décompose en une série de zones alternativement hyalines et granuleuses en lumière naturelle. Entre nicols croisés, les zones granuleuses ne réagissent guère, comme c'est l'habitude. Quant aux zones hyalines, elles sont formées d'éléments de tailles diverses et irrégulièrement juxtaposés dont l'ensemble engendre une mosaïque de grains plus ou moins fins. Souvent, des lignes ou plages sombres parallèles à la surface jalonnent ces zones hyalines ; elles sont dues, selon moi, à un phénomène de réfraction provoqué par l'éclatement et la résolution en lamelles plus ou moins nombreuses et plus ou moins fines.

B. — Opinion de divers auteurs sur la microstructure et la microtexture des Céphalopodes.

1. — Tout ce que j'ai dit de la microstructure et de la microtexture de ces organismes ne coïncide pas absolument avec ce qu'en ont dit HYATT, ZITTEL et M. CAYEUX ; il y a néanmoins de nombreux points de rapprochement.

HYATT signale, chez le jeune *Nautilus*, l'existence de deux couches que j'ai indiquées :

« La coquille du jeune *Nautilus*, au sommet du premier tour, se compose de deux couches : une couche interne, nacrée, et de structure imbriquée — et une couche de texture plus dense » [157]. Suivent, concer-

157. « The shell of the young Nautilus, at the apex of the first whorl, consists of two layers, an imbricated internal nacreous layer, and a layer of denser texture». cf. HYATT A. — Fossil Cephalopods of the museum of comparative zoology. Embryology, *Bull. of the Museum of comparative Zoology*, Cambridge, 1872, vol. III, n° 5, p. 103.

nant la coquille, sa structure et son origine, de fort intéressants détails que la fossilisation a périmés et dont je n'ai pas, en conséquence, à tenir compte. Je ne retiendrai que ce fait général de la présence de deux couches dans les coquilles de Nautile, des Goniatites et des Ammonites.

ZITTEL [158], décrivant la coquille du Nautile, signale lui aussi l'existence de deux couches, l'une externe, opaque et porcelanée, l'autre interne et nacrée — la première composée de cellules calcaires, la seconde formée de minces lamelles parallèles, à striation transversale, fine et serrée, due à une texture prismatique.

L'auteur ajoute ce détail d'importance et qui confirme ce que j'ai dit plus haut (cf. III. — Microstructure et microtexture de la coquille, 2e cas) :

« On peut plus ou moins facilement retrouver les deux couches de la coquille du *Nautilus* chez tous les Tétrabranches fossiles. Il n'est pas rare que, chez ces derniers, la couche interne montre une tendance à se fendre en plusieurs lamelles » (p. 336).

Ce que M. CAYEUX [159] dit de la coquille du Nautile rappelle la description de ZITTEL : couche externe de texture celluleuse — couche interne formée de fines lamelles striées transversalement et engendrant un réseau orthogonal. L'auteur ajoute : « en aucun cas, je n'ai pu observer les caractères précédents, nettement exprimés chez les Nautiloïdes fossiles » (p. 491).

2. — Par contre, il y a une ressemblance frappante entre la texture de l'organisme carbonifère et la description que donne CARPENTER de la coquille du *Nautilus pompilius* ; il a signalé, chez cette espèce, deux couches, toutes deux « nettement celluleuses » [160].

IV. — CONCLUSIONS.

A. — Microstructure et Microtexture.

Bien que d'apparences très compliquées, la microstructure et la microtexture des Céphalopodes sont relativement simples. La coquille se compose de deux couches:

l'une externe, toujours mince,

158. ZITTEL K. A. — Traité de Paléontologie (Trad. Barrois). t. II, Paléozoologie, P. I, pp. 331 sq.

159. CAYEUX L. — Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. — 1916, pp. 490 sq., pl. LIV.

160. CARPENTER W. — On the microscopic structure of shells. — *Brit. Assoc.*, 17e Rep., 1847, p. 116.

l'autre, interne, très développée et prenant part à la constitution des cloisons qui divisent intérieurement la coquille en chambres successives.

La couche externe est celluleuse et constituée par une fine mosaïque. Elle est souvent dissoute ; mais, quand elle est conservée, elle se distingue très nettement de la matrice par la finesse de son grain (cf. liseré blanc qui limite extérieurement la couche sombre granuleuse dans les fig. 84, 86 et 87 de la planche XIX).

La couche interne, toujours épaisse, et plus ou moins dense (fig. 84, 86 et 87 de la planche XIX) ou plus ou moins lâche suivant les coquilles, est formée de zones alternativement claires et sombres ; elle montre une tendance marquée à se résoudre en écailles concentriques (cf. Pl. XX, fig. 88 et 90). La texture est de calcite en mosaïque dans les zones claires et hyalines ; elle est granuleuse dans les zones sombres, et constituée par des ponctuations calcaires très fines plus ou moins étirées en paillettes orientées parallèlement à la surface du test. Ces granulations se détachent sur un fond hyalin dont la nature est difficile à préciser : est-il de mosaïque plus ou moins masquée par l'entassement des ponctuations? ou la calcite a-t-elle moulé secondairement les granulations de carbonate de calcium? Le 3e cas signalé ferait plutôt penser à une texture générale de calcite en mosaïque, masquée en tout ou en partie, suivant l'abondance et l'entassement des ponctuations calcaires qui la chargent.

Quelques particularités méritent d'être signalées qui ont trait à la couche interne :

1. — elle peut être dans certains cas (rares) remplacée par du calcaire granuleux typique sans orientation aucune des granules ;

2. — les paillettes granuleuses peuvent faire complètement défaut et laisser la place à la calcite hyaline (cas n° 2 ; fig. 88, 90, 91 et 92 de la pl. XX) ;

3. — parfois, dans les zones hyalines, l'extinction en bloc de plusieurs écailles successives pourrait faire croire à l'existence d'une texture prismatique. Parler d'écailles constituées par des prismes courts, trapus et mal individualisés — ou parler d'écailles formées de calcite en mosaïque à éléments plus ou moins orientés — n'est, au fond, qu'une question de mots et de définition. Néanmoins, dans le cas de véritables textures prismatiques, l'allure est à la fois plus nette et plus régulière.

B. — Céphalopodes et Serpules.

Les textures décrites ci-dessus appartiennent-elles toutes à des individus du groupe des Céphalopodes, et, si oui, l'une ou l'autre d'entre elles ne témoignerait-elle pas d'un phénomène de recristallisation?

1. — Les trois textures que j'ai analysées, à mon avis, ne sont tellement différentes qu'en apparence. J'en donnerai pour preuve ce fait qu'entre les cas 1 et 2 (qui sont les cas extrêmes), il y a des textures intermédiaires v. g. celle signalée dans le cas 3 (cf. fig. 85 de la pl. XIX). J'ai trouvé, suivant les sections étudiées, tous les passages ; j'ai même observé ces passages dans une même coquille (cf. fig. 89 de la pl. XX). Mais précisément, les sections qui, du point de vue de la microtexture, se réfèrent au 2e cas, appartiennent-elles à des organismes du groupe des Céphalopodes et ne faudrait-il pas les rapporter plutôt au groupe des Vers et en faire des sections de Serpules?

En faveur de cette seconde hypothèse, je signalerai le fait de la coexistence à la base du Banc Henriette de petits Céphalopodes typiques et de tubes cylindriques à développement irrégulier qui me paraissent devoir être des tubes de Serpules. Cependant, les Serpules jurassiques dont j'ai examiné des sections ne m'ont rien donné de comparable au point de vue microtexture. Leur coquille épaisse et d'une venue, est maculée dans son épaisseur par des granulations noires (matières organiques) orientées les unes radialement, les autres tangentiellement à la surface et déterminant de ce fait une vague structure concentrique dans un certain nombre de sections. Entre nicols croisés, on a le phénomène de la croix noire qui fait conclure de suite à une texture fibreuse ou prismatique ; cette texture s'étend en gros sur toute l'épaisseur du test. Rien ne m'a rappelé la structure vésiculeuse décrite par H. A. NICHOLSON et R. LYDEKKER, ni la structure laminaire observée par M. L. CAYEUX chez les Serpules vivantes ; la texture que j'ai observée se rapprocherait du type lamellaire et fibreux de SORBY, les lamelles étant ici virtuelles (zonation concentrique). De ci de là, j'ai observé une zone superficielle, plus claire en lumière naturelle et dont l'aspect ne change guère entre nicols croisés. Cette zone superficielle qui ne montre aucun détail de structure semble, sous l'objectif à immersion, se décomposer en fibres très ténues à direction radiale.

La texture chez les Serpules est donc nettement différente de celles décrites ci-dessus, même dans le cas n° 2 — et rien ne me paraît légitimer ce rapprochement.

2. — La recristallisation semble pouvoir être invoquée : elle s'observe chez les Céphalopodes, elle est fréquente chez les Serpules où elle périme tout ou partie de la coquille. Dans les deux groupes, elle donne naissance à une mosaïque à larges éléments, mosaïque qui détruit toute ordonnance et toute régularité, et, de ce chef, périme complètement non seulement la texture mais souvent aussi la structure des organismes. Il faudrait donc admettre ici une recristallisation ménagée (cf. Pl. XX, fig. 89).

3. — J'ai longtemps pensé à la coexistence possible de deux Céphalopodes, l'un aplati suivant un plan perpendiculaire à l'enroulement et à coquille mince, l'autre globuleux et à test épais. L'allure d'ensemble et le comportement du naissain d'une part, le fait qu'on passe dans une même coquille d'un type de structure à l'autre etc... ne me paraissent pas légitimer cette hypothèse.

C. — Nautiloïdes ou Ammonoïdes ?

Est-il possible, en se basant sur les caractères fournis par la microtexture, de préciser à quel sous-ordre (*Nautiloïdea* ou *Ammonoïdea*) appartiennent les organismes dont j'ai décrit dans ce chapitre la microtexture et certains caractères morphologiques et anatomiques?

Du point de vue anatomique, et en se basant sur les goulots siphonaux d'une part et sur la position du siphon d'autre part, cette détermination ne me paraît pas possible. En ce qui concerne les goulots siphonaux, on sait que ces organes sont des «retroussements plus ou moins longs des cloisons, qui sont dirigés *généralement* chez les Nautiles en arrière, chez les Ammonites en avant » [161].

Quant au siphon (toujours d'après ZITTEL), « chez les Ammonitides, il est constamment sous la partie externe de la coquille ; chez les Nautilides, sa position ne reste même pas constante chez un seul et même genre : il peut être externe, interne, central ou intermédiaire » [162]. Mais ces caractères s'entendent de formes évoluées, et non de formes jeunes et des premières cloisons, comme c'est le cas dans la section que j'ai photographiée et décrite. Chez les Ammonites en effet, le siphon qui est externe chez les adultes, peut être, comme l'a montré GRANDJEAN [163], intermédiaire chez les jeunes.

L'étude de la microtexture, elle aussi, laisse subsister un léger doute sur l'identification de ce naissain. En effet, des deux couches dont l'ensemble constitue le test des Céphalopodes tétrabranchiaux, une seule est constante et ne manque jamais, c'est la couche interne ; et elle est chez les *Ammonoïdea,* d'après M. CAYEUX, « non seulement l'homologue de la couche interne des *Nautiloïdea,* mais elle lui est identique en tout point » [164]. Celle qui manque d'ordinaire est la seule qui puisse per-

161. ZITTEL K. A. — Traité de Pal. (Trad. Barrois). — t. II Palaeozoologie, P. I, p. 346.

162. ZITTEL K. A. — ibid., p. 347.

163. GRANDJEAN F. — Le siphon des Ammonites et des Bélemnites. — *Bull. Soc. géol. Fr.,* 1910, pp. 506 et 507, fig. 7, 8, 9, 10.

164. CAYEUX L. — Introd. à l'étude des roches sédimentaires. — 1916, p. 491.

mettre l'identification ; de fine mosaïque chez *Nautilus,* elle est, chez les *Ammonoïdea,* prismatique à prismes courts, trapus et normaux à la couche interne. En ce qui me concerne, chaque fois que je l'ai observée dans le naissain que je viens de décrire, elle était donc, de par sa texture, caractéristique des Nautiloïdes.

CHAPITRE VI.

OSTRACODES

L'ordre des Crustacés Ostracodes est représenté dans le Calcaire carbonifère par de nombreux genres et espèces auxquels M. K. JONES et BRADY ont consacré une fort intéressante monographie. Ces organismes ou des restes de leur squelette, valves et esquilles, se rencontrent un peu partout ; ils ne sont pourtant abondants que dans certains facies particuliers, calcaires granuleux et autres, résultant de la consolidation de sédiments riches en matières organiques.

I. — MORPHOLOGIE.

Il est des formes à test mince et d'autres à coquille épaisse et trapue, unie et sans ornements ou hérissée de forts tubercules percés en leur centre d'un minuscule canal. Certaines espèces, comme on pourra en juger par le profil des esquilles et des valves, sont très aplaties ; d'autres plus arquées et de forme ovalaire ; d'autres, enfin, montrent une dépression et un prolongement de la région antérieure en forme de bec ou d'éperon.

Fig. 30. — Quelques esquilles d'Ostracodes.

Je me suis interdit d'entreprendre la détermination systématique des formes que j'ai rencontrées et ce pour diverses raisons : une pareille préoccupation se serait écartée du but exclusivement pétrographique de ce travail. Cette entreprise eût supposé un matériel abondant d'échantillons riches en Ostracodes ob-

servables au binoculaire, et l'observation directe de ces organismes dégagés de la roche ; or, le calcaire est trop homogène pour se prêter à semblable tentative. Enfin, il est rare de rencontrer en lame mince et en nombre suffisant des sections vraiment caractéristiques et, même si on les avait, une pareille détermination laisserait bien peu de sécurité.

II. — STRUCTURE ET MICROTEXTURE.

M. CAYEUX dans son «Etude pétrographique des roches sédimentaires» au chapitre où il traite des Crustacés Ostracodes commence par cette remarque générale : «Tout diagnostic des Ostracodes, au microscope, doit être fondé, autant que possible, sur deux caractères : le dessin d'ensemble des valves et leur structure intime» (p. 439). Il passe ensuite en revue cinq modes de fossilisation des Ostracodes, les uns ayant laissé subsister les valves, leur dessin et leur texture, les autres n'ayant conservé de la coquille que l'individualité morphologique.

Dans les sédiments carbonifères du Boulonnais, les Ostracodes se présentent sous trois modes divers de fossilisation, deux d'entre eux étant communs et le troisième exceptionnel.

Cas I.

Le type le plus fréquent de fossilisation montre l'*organisme entier ou en esquille à carapace nettement individualisée,* de teinte brunâtre (matières organiques) ; dans l'espace intervalvaire s'est développée une mosaïque en gros cristaux de calcite secondaire parfaitement hyaline. En lumière polarisée, la carapace montre un double pinceau foncé qui se déplace latéralement quand on fait tourner la platine du microscope ; elle est formée de petits prismes juxtaposés qui s'éteignent suivant leur allongement. L'extinction qui devrait être complète ne l'est pas ; il en faut conclure que tous les prismes ne sont pas rigoureusement normaux à la surface du test mais qu'il en est qui sont légèrement obliques sur cette surface. Néanmoins, me basant sur l'allure générale de l'extinction, je qualifierai cette texture de *texture prismatique* à prismes normaux à la surface. C'est là le type de texture le plus universellement réalisé chez les Ostracodes carbonifères dans le Boulonnais, c'est la seule que présentent ces organismes à l'état dissocié.

A propos de la texture prismatique, M. J. DE LAPPARENT fait remarquer que, dans un certain nombre de cas, l'extinction n'est pas complète ; « il se produit entre nicols croisés un minimum d'intensité lumineuse dans les directions des sections principales des nicols qui fait

apparaître de très fines lamelles non éteintes et accuse ainsi une microtexture complexe dont l'apparence reste d'ailleurs caractéristique » [165].

Cas II.

a. — A côté de ces formes à test bien conservé dans son individualité, et nettement distinct du remplissage, je signalerai des individus que la fossilisation a transformés en « *noyaux amygdalaires de calcite* » [166], et c'est ce que j'appellerai *la forme en amande*. L'organisme se présente ici sous la forme d'un corps cristallisé de calcite homogène, ne montrant pas la moindre distinction de carapace et de remplissage (cf. Pl. XVIII, fig. 72, en bas à droite — et Pl. XXIII, fig. 111 moitié supérieure). En lumière naturelle et à un grossissement moyen, on remarque une fine striation de la calcite qui, de la surface externe de l'organisme, se dirige vers le centre de l'espace intervalvaire (cf. Pl. XVIII, fig. 72). Entre nicols croisés s'observe un double pinceau très fin qui se déplace latéralement quand on fait tourner la platine du microscope et qui est dû à l'extinction de prismes très fins ou fibres de calcite, extinction qui est droite et se fait suivant l'allongement des fibres.

Bref, c'est le même type de fossilisation que celui qui vient d'être décrit ; mais, dans ce second cas, la calcite a cristallisé dans le vide intervalvaire en s'orientant sur les prismes de la carapace ; les prismes s'allongeant ont fini par venir en contact. Ce contact est marqué par une ligne irrégulière noire qui, pour l'ordinaire, traverse l'Ostracode suivant son plus grand diamètre. Il m'a paru toutefois utile d'en faire un type distinct, en raison de son aspect très spécial d'une part, et d'autre part parce que cette forme est caractéristique d'un facies calcaire, l'« oolithe rubanée », où elle abonde à certains niveaux (cf. Pl. XXIII, fig. 111). Une lame mince taillée dans les bancs rubanés supérieurs au marbre Lunel ne m'a pas montré sur 16 mm² moins de vingt sections d'Ostracodes en amande...

Comme confirmation de ce rapprochement, je signalerai le fait qu'on rencontre tous les intermédiaires entre le cas I et la forme massive « en amande » (cas II) ; chez de nombreux individus une partie de la calcite qui oblitère la cavité intervalvaire s'est orientée suivant les prismes de la carapace laissant au centre de la coquille un espace occupé par une mosaïque de calcite. Une prismatisation secondaire analogue se produit parfois aussi de la surface de la carapace vers l'extérieur ; on voit, au-

165. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — 1923, p. 279.
166. CAYEUX L. — Introd. à l'ét. pétrographique des roches séd. — 1916, p. 442 c.

tour d'un Ostracode entier ou d'une esquille à texture fibreuse bien conservée, la calcite de la matrice s'orienter et prendre elle aussi une disposition rayonnante. La surface de l'organisme est marquée par une mince ligne de calcaire granuleux qui sépare ces deux séries de prismes secondaires.

b. — Dans la majorité des cas, on ne distingue ni carapace, ni remplissage. Parfois cependant subsiste, à la surface externe de l'amande, une zone claire qui se distingue à première vue de la zone prismatique ; elle est, en lumière naturelle, plus hyaline et n'est pas chargée de ponctuations brunes (matières organiques), elle est ou du moins paraît homogène et ne présente pas une orientation évidente de ses éléments cristallins. Tandis que la zone brunâtre prismatique s'éteint bien entre nicols croisés, cette zone superficielle ne s'éteint pas ou s'éteint mal. Ses éléments sont extraordinairement menus et il est, de ce chef, fort malaisé de préciser s'il s'agit de prismes très grêles ou de granules calcaires orientés radialement. Personnellement, j'inclinerais plus volontiers vers la seconde hypothèse ; cette zone représenterait le vestige de la carapace disparue par recristallisation, le remplissage commençant avec la zone prismatique.

Cas III.

Ces formes carbonifères en amande ressemblent beaucoup aux noyaux amygdalaires du calcaire oligocène à Cypris de Vaurs près Arpajon (Cantal) figurés par M. CAYEUX [167]. Cependant, à en juger par le texte, les structures n'ont rien de comparable. En effet « tout le calcaire, y compris celui qui oblitère la cavité, est converti en calcite grenue dont les éléments sont moulés les uns sur les autres. Rien ne marque l'emplacement du test. Par une cristallisation de plus en plus large, il y a tendance à réaliser l'unité d'orientation, si bien que des amandes sont formées d'un volumineux grain de calcite accompagné de petits granules » [168].

Ces noyaux sont à rapporter au troisième type qu'il me reste à décrire : *l'Ostracode entier,* carapace et vide intervalvaire, *est constitué par une calcite en mosaïque* et entouré d'une auréole obscure de carbonate de calcium en tout petits granules. Aucun détail ni dans la mosaïque ni dans l'auréole granuleuse qui la limite vers l'extérieur ne permet de soupçonner l'existence et l'emplacement de l'ancienne carapace (cf. Pl. XVIII, fig. 72, les deux formes supérieures).

167. CAYEUX L. — Introd. à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. 1916, Pl. XLII, fig. 1.

168. CAYEUX L. — Introd. à l'étude pétrogr. des roches séd. 1916, p. 442 c.

Ce troisième type est donc constitué par un organisme à test périmé et tout entier de calcite secondaire en mosaïque. Il convient d'ajouter que ce mode de fossilisation est rare, qu'il est même exceptionnel dans les sédiments du Calcaire carbonifère boulonnais.

III. — FACIES.

Les Ostracodes se rencontrent à tous les niveaux et dans tous les facies du Calcaire carbonifère boulonnais, au moins à l'état d'individus ou d'esquilles isolés ; mais ils ne se trouvent en nombre que dans certains facies spéciaux, calcaires granuleux, calcaires grumeleux, oolithes rubanées, calcaires à organismes végétaux du type Henriette. On ne s'en étonnera pas, habitué que l'on est à voir les Ostracodes d'eau douce brouter les végétaux vivants ou vivre dans les eaux stagnantes aux dépens de matières végétales en état de décomposition plus ou moins avancée.

Un bon exemple de ces calcaires nous est fourni par un calcaire à Ostracodes (Viséen supérieur de Lives près Namur, rive droite de la Meuse). C'est un calcaire noir à cassure conchoïde et à nombreux petits Ostracodes. A l'attaque par l'acide chlorhydrique, le calcaire laisse la coupe en porcelaine remplie d'un produit noir foncé et luisant qui se résout en petites pellicules brunes. Quand on a longuement décanté, il reste au fond de la coupe un résidu noir foncé renfermant de nombreux petits quartz de néoformation et de nombreux petits fragments charbonneux, les uns allongés, les autres en petits grains arrondis.

CHAPITRE VII.

LES ALGUES

Des Algues, je n'ai que peu de chose à dire, une étude détaillée de ces organismes ou d'organismes envisagés comme tels ayant été faite dans la première partie de ce travail à l'occasion des marbres Henriette (Ch. III), Pattes d'Alouettes (Ch. IV), Caroline et Rubané Notre-Dame (Ch. V et VI), Lunel uni et Lunel fleuri (Ch. VII), et Napoléon Grand Mélange (Ch. VIII).

De ces chapitres ressortent quelques constatations d'ensemble qu'il me paraît utile de mentionner :

A. — Ces formes organiques peuvent se réduire à *deux types très différents l'un de l'autre.*

1. — L'un d'eux comprend des organismes thallaires énigmatiques dont le type est *Corydopodium Pruvosti* des marbres Napoléon Tigré dit « Pattes d'Alouettes » et Napoléon Gris (cf. p. 56).

A ce type, je ramène certains des organismes laminaires de la partie supérieure du Napoléon Grand Mélange et ceux qui construisent en partie les bancs rubanés qui s'étagent entre le « Banc de Onze pieds » et le marbre Henriette (cf. Tableau, p. 34). Ces organismes, étalés en forme de croûtes horizontales très étendues et bossuées, ont gardé leur structure dans le bas de la série (calcaires rubanés qui surmontent immédiatement le « Banc de Onze pieds » (cf. Pl. VIII, fig. 32) ; dans le haut, ils sont disloqués et réduits à l'état de fragments (marbre Caroline).

2. — Les Algues du second type appartiendraient, selon moi, au groupe des Siphonales et seraient à classer dans le voisinage des *Udoteae* et des *Codieae*.

Dans la première édition (1897) de leur étude systématique du règne végétal intitulée « Die natürlichen Pflanzenfamilien », A. ENGLER et K. PRANTL avaient groupé sous la dénomination de *Codiaceae* (cf. Teil I, Abteilung 2, p. 14 sq.) nombre de genres qui, dans la seconde édition (1927), sont nettement répartis dans les trois sous-familles des *Flabellarieae*, *Udoteae* et *Codieae* dont l'ensemble constitue la famille des *Codiaceae* (cf. Auflage 2, Band 3, p. 311 sq.). Dans la sous-famille des *Flabellarieae*, sont rangés un certain nombre de genres à thalle non incrusté ; les deux autres sous-familles groupent des formes à thalle incrusté de calcaire et différencié (*Codieae*) ou non (*Udoteae*), dans sa portion superficielle, en un tissu cortical (Rindengewebe) à tubes cloisonnés. Ce tissu cortical est inégalement développé dans les genres *Codium* et *Pseudocodium*.

a. — J'ai rapporté à la sous-famille des *Codieae* l'organisme du marbre Henriette que j'ai dénommé *Polymorphocodium* (cf. p. 43) en raison de l'existence des deux tissus et de la présence, en certaines portions de la surface, de tubes dilatés en boyaux. Cette assimilation m'est en outre suggérée par les analogies que cet organisme présente, dans sa structure et sa texture, avec les *Sphaerocodium* décrits par ROTHPLETZ. Je ramènerais également à cette sous-famille les organismes développés en colonnes montantes, qui se rencontrent au niveau du Napoléon Grand Mélange et dont l'ensemble constitue ces formes bizarres que l'on appelle en carrière les « Gra'mères » (cf. p. 103).

b. — Quant aux formes que j'ai dénommées *Mitcheldeania zonata* (cf. Lunel uni du Banc Parisien n° 2, p. 87) et *M. capnostyloïdes* (« Bouffées de pipe » du Lunel fleuri du Banc Parisien n° 2, p. 97), elles me paraissent ressortir de la sous-famille des *Udoteae*.

Bien que M. HIRMER, dans son « Handbuch der Paläobotanik » (1927, p. 38 et 39), range les genres *Mitcheldeania* WETH. et *Zonotrichites* BORNEM. parmi les « *Porostromata Thamnidia* » et semble vouloir les rapprocher des Rivulariacées, — il m'a paru préférable, faute de matériel de comparaison, et malgré certaines différences de détail qu'accusent dans leur texture les formes boulonnaises, de les classer provisoirement sous le terme générique de *Mitcheldeania*.

Mitcheldeania zonata, dégagé du carbonate de calcium qui incruste ses cellules tubulaires, ne différerait guère, par son allure d'ensemble, des genres *Penicillus* et *Udotea*. Les processus latéraux qu'on observe dans les régions où les tubes sont variqueux se retrouvent chez *Rhipi-*

liopsis peltata A. et E. S. GEPP (ENGLER et PRANTL, 1927, Auflage 2, Band 3, p. 313, fig. 242, 2) sous forme de courtes expansions latérales qui font communiquer les tubes entre eux.

Je ne puis m'empêcher de signaler, en terminant, un travail récemment paru de M. D. MAWSON sur des calcaires construits, découverts par lui dans les « Pre-ordovician Rocks of the Mc Donnell Ranges (Central Australia) » et qu'il attribue à des Algues.

Son travail ne fournissant aucune microphotographie de la texture fine de ces organismes mais seulement leur aspect extérieur et leur allure d'ensemble, les rapprochements que je suggère sont uniquement basés sur ces caractères extérieurs. La planche XLV rappelle, à s'y méprendre, l'organisme du marbre Henriette dans ses portions plus fournies, et, d'un peu plus loin, le Lunel fleuri du Banc Parisien n° 2 dans sa portion « Bouffées de pipe » vue en section horizontale. L'Algue laminaire ondulée que l'auteur a figurée à la planche XLVII ne diffère guère, par son allure d'ensemble, des organismes rubanés superposés au Banc de 11 pieds. Enfin, la variété reproduite à la planche XLIX semble le calque de certaine variété de fleuri de la Vallée Heureuse. Il est à souhaiter que M. D. MAWSON puisse nous donner une étude détaillée de la texture de ces diverses formations organiques.

B. — Un fait remarquable et sur lequel il convient d'insister, c'est la multiplicité d'aspects que peuvent emprunter des organismes végétaux de même texture fondamentale (v. g. texture tubulaire sans partitions cellulaires) du seul fait de l'orientation et de l'arrangement de ces tubes. Je signalerai de l'organisme Henriette, la forme épanchée en croûte horizontale et celle qui, évoluant toute en hauteur, a donné naissance aux structures diverses que j'ai décrites sous le nom de *Polymorphocodium Lapparenti* (cf. p. 43 sq). De ce dernier organisme il faudrait rapprocher les formations auxquelles on a donné en carrière les noms de « Gra'mères » et de « Mam'zelles », et que j'incline à considérer comme des formations coloniales. Il en serait de même de Polymorphocodium et c'est par là qu'il faudrait expliquer la diversité de formes qu'il présente.

APPENDICE.

En cours d'impression, il me tombe sous la main un fort intéressant travail de M. E. J. GARWOOD sur le Calcaire carbonifère de la partie septentrionale du district de Cumberland et sur ses affleure-

ments dans le district de Roxburghshire. L'auteur y signale dans les divisions comprises entre Z^2 et la partie supérieure de C^2 toute une série d'horizons caractérisés par des Algues.

Beaucoup d'entre elles (*Girvanella, Mitcheldeania, Ortonella* — cf. Pl. XIII) sont déjà connues par de précédents travaux du savant auteur qui en décrit toutefois de nouvelles espèces : *Girvanella staminea* (Pl. XIII, fig. 1), *Ortonella Kershopensis* (Pl. XIII, fig. 3), et *O. tenuissima* (Pl. XIV, fig. 2).

Y aurait-il un rapprochement à faire entre le genre *Ortonella* et l'organisme « *Bouffée de pipe* » décrit et figuré par moi (cf. p. 97 et pl. XIII, fig. 45) ? Il m'est impossible de répondre avec quelque certitude, en raison du mauvais état de conservation des Bouffées de pipe. Les tubes de *Mitcheldeania capnostyloïdes* ont une allure très régulière dans le bas ; dans le haut, ils se présentent en touffes qui rappellent celles d'*Ortonella tenuissima.* Mais, de toute évidence, les tubes d'*O. tenuissima* sont de moindre diamètre que ceux de *Mitcheldeania capnostyloïdes.*

Son genre *Bevocastria* m'arrêtera davantage. Je lui trouve de frappantes analogies avec certain *Sphaerocodium* de ROTHPLETZ d'une part, avec *Polymorphocodium Lapparenti* d'autre part ; du premier se rapprocherait la figure 2 de la planche XII et de l'organisme boulonnais la figure 1 de la même planche. Comme du reste l'a souligné M. GARWOOD lui-même, je doute que les figures 3A et 3B de la planche XII se réfèrent à la même espèce ou encore au même genre, à moins qu'il n'y ait mélange de deux organismes différents. La figure 3 B, dans ses portions concentriques, rappelle certains aspects de *Sphaerocodium* et de *Polymorphocodium ;* l'examen de 3 A n'y fait pas penser le moins du monde.

L'aspect qui rappelle le plus *Polymorphocodium* est celui fourni par la microphotographie 1 de la planche XII. Par ailleurs, un certain nombre de traits sont communs à *Bevocastria* (p. 140 et 141), et à *Polymorphocodium,* à savoir : l'allure des tubes, leur disposition en couches concentriques plus ou moins régulières, la présence de deux tissus formés de tubes différents de calibre et d'allure, la rareté des bifurcations. Je n'ai point observé, chez *Polymorphocodium,* de constrictions nettes dans les tubes ; M. GARWOOD fait du reste observer que les tubes de *Bevocastria* ne montrent ces constrictions régulières « at fairly regular intervals » que quand ces tubes sont bien conservés (cf. p. 140). L'auteur ne signale pas les dilatations qui se forment dans les tubes de *Polymorphocodium ;* mais ce n'est pas une preuve suffisante : ne les ai-je pas rencontrés *une seule fois* dans un matériel par ailleurs abondant et après de multiples recherches.

TROISIEME PARTIE

LES CALCAIRES GRANULEUX, GRAVELEUX, OOLITHIQUES ET MAGNÉSIENS.

Après avoir passé en revue, dans la première partie de ce travail, les marbres du Boulonnais qui appartiennent au sous-étage viséen et défini les facies calcaires auxquels ils correspondent :

1. — calcaires essentiellement formés d'organismes, se présentant comme de véritables tufs organiques ou des bancs récifaux : marbre Henriette (Ch. III), marbre Napoléon Pattes d'Alouettes (Ch. IV), marbre Lunel Fleuri (Ch. VII),

2. — calcaires grumeleux, constitués, en partie du moins, par des débris d'organismes avec persistance, çà et là, de quelques fragments qui ont conservé leur structure : calcaires rubanés, marbres Caroline (Ch. V) et Lunel Rubané Notre-Dame (Ch. VI),

3. — brèches à éléments anguleux de tailles diverses, provenant de la dislocation sur place de calcaires rubanés ou de calcaires d'organismes : marbre Napoléon Grand Mélange (Ch. VIII),

4. — calcaires grenus à nombreux débris d'organismes : marbre Joinville et marbre Noir de Réty (Ch. IX),

il m'a paru utile, nécessaire même, d'achever et de compléter ce travail par l'étude des sédiments calcaires dont il n'a pas été question jusqu'ici, à savoir : le calcaire granuleux, les calcaires graveleux et oolithiques, et les calcaires magnésiens. J'ajouterai quelques pages sur les résidus (Ch. VI) que laissent, à l'ordinaire, les calcaires après attaque par l'acide chlorhydrique.

CHAPITRE PREMIER.

LE CALCAIRE GRANULEUX.

Le calcaire granuleux est, comme son nom l'indique, composé essentiellement de carbonate de calcium cristallisé en tout petits éléments ou *granules*, serrés les uns contre les autres et ne laissant pas place dans le facies type à une matrice. Ces éléments, engrenés qu'ils sont les uns dans les autres, se sont gênés dans leur développement ; ils n'ont pas de forme cristalline propre. Le calcaire granuleux type est d'un grain tellement fin qu'il ne se peut déceler à la loupe à main ; il éclate sous le marteau en esquilles courbes et présente une cassure conchoïdale.

Quoiqu'on le fasse souvent, il me paraît peu légitime d'identifier les termes de calcaire granuleux et de calcaire compact : le premier, définissant la texture particulière d'un sédiment calcaire et le second, se référant uniquement à sa structure, à un aspect extérieur et d'ensemble. Beaucoup de calcaires dits compacts et qui le sont extérieurement révèlent à un examen attentif, souvent même à la loupe à main, une texture, une ordonnance intime des éléments ; ce sont, la plupart du temps, des sédiments grumeleux fins, — ce peuvent être aussi des sédiments graveleux abondamment chargés de matériaux détritiques très menus qui ont comblé tous les interstices et supprimé la matrice ou l'ont rendue imperceptible. Le calcaire compact est pour l'ordinaire, au sens employé par les stratigraphes, un calcaire à grain extrêmement fin, dont les interstices sont comblés par de la vase calcaire et qui ne montre pas en conséquence de matrice très nette donc pas de structure.

Sa texture se révèlera parfois à la loupe pour un homme averti ; d'autres fois, il faudra recourir à la lame mince pour mettre en relief

la texture et la présence d'organismes ou de fragments organiques qui sont toujours d'ordre microscopique.

Pour ne pas compliquer inutilement la question, je me bornerai à étudier les calcaires compacts de texture granuleuse, tous ayant ceci de commun que leur cassure est conchoïdale et parfaitement lisse, excluant par le fait même certains calcaires à grain très fin dont on a pu faire des calcaires compacts mais dont la cassure mate montre de nombreux petits points cristallins. Certains de ces calcaires sont chargés de matières organiques qui opacifient la préparation et masquent le fond de la roche ; mais, quand on peut, sur les bords de la préparation, étudier le grain de la roche, on le voit constitué de calcite en fine mosaïque ou du moins à mélange de mosaïque et de granules. Ainsi en est-il du calcaire à Ostracodes du Viséen supérieur de Lives près Namur, de certain calcaire dit compact ou « pierre à chaux » de Tournai. Je laisserai donc aussi de côté, pour l'instant, les calcaires granuleux à texture grumeleuse, et les calcaires granuleux à texture graveleuse ou oolithique dont je parlerai plus loin, en passant en revue ces deux facies.

Je me propose de décrire successivement les principaux facies de calcaire granuleux, me réservant ensuite, dans la mesure du possible, d'interpréter leur origine et leur mode de formation.

I. — PRINCIPAUX FACIES.

A. — Rubans de calcaire granuleux.

Le calcaire granuleux se présente sous la forme de *minces rubans*, isolés, interrompant temporairement une sédimentation en cours (cf. Pl. XXI, fig. 95 et 96).

Ces rubans dont la structure et la texture n'ont rien de commun avec celles des sédiments qui les encadrent (calcaire gravelo-oolithique et calcaire grumeleux) sont toujours d'épaisseur inégale et faible, de l'ordre du centimètre (de 3 à 10 cm.). Ils ont en commun un certain nombre de caractères qui leur sont spécifiques :

— leur aspect dépoli vraiment caractéristique,
— leur transparence parfaite et l'absence de toutes matières organiques,
— la persistance d'ombres et de mouches souvent très atténuées et qui échappent au premier coup d'œil (cf. Pl. XXI, fig. 95).

B. — Calcaire granuleux en plaquettes.

Le calcaire granuleux entre aussi comme partie intégrante dans la constitution de certain facies bien développé dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais, en particulier au-dessus du niveau aux marbres Caroline et Henriette et que j'appellerai « *Calcaire en plaquettes* » [169].

C'est un ensemble de petits bancs de couleur blanchâtre séparés par des cordons de teinte foncée jaunâtre ou rougeâtre ; ces cordons ont tendance à se déliter, à se dilaminer, à se pulvériser même, laissant de ce fait en relief les bancs blanchâtres plus homogènes et plus résistants.

De prime abord, j'ai été tenté de faire de ces bancs blanchâtres des calcaires compacts de texture exclusivement granuleuse ; il n'en est rien. Non seulement l'ensemble n'est pas de texture granuleuse mais je crois pouvoir affirmer que ce facies granuleux type n'y est pas prépondérant. Ce sont, pour l'ordinaire, des calcaires compacts de texture grumeleuse, graveleuse, granuleuse (bancs compacts devenus blanchâtres par altération superficielle), recoupés par des épisodes courts (cordons jaunâtres ou rougeâtres) de grain plus grossier, épisodes détritiques ou organo-détritiques plus ou moins altérés et pulvérulents — dont le tableau ci-dessous donne une idée d'ensemble.

Complexe blanchâtre supérieur de 1 m. 20 environ d'épaisseur:

moitié supérieure : plus compacte, moins délitée ; dolomitique. La dolomitisation est assez accentuée pour donner naissance à des « dolomies grenues » de texture illisible.

moitié inférieure : Calcaire compact d'aspect, en plaquettes séparées par des délits rougeâtres.

Les petits bancs d'aspect compact sont en réalité de texture graveleuse.

Gros banc blanchâtre de 0 m. 70 environ d'épaisseur (brun-chocolat dans le haut, jaune pâle dans sa partie moyenne, brun noir dans sa portion basale).

169. Ces calcaires en plaquettes, dont je donne ci-dessous la description sommaire (cf. Tableau, pp. 187 et 188), ont une puissance approximative de 7 mètres. On peut les observer au ciel de la carrière des Chemins de Fer du Nord et à la partie supérieure de celle des deux carrières du Haut-Banc qui est aujourd'hui inexploitée. Ils se retrouvent, au ciel de la carrière du Haut-Banc, dans la portion adossée à la carrière de Basse-Normandie et sont coupés par la tranchée du chemin de fer qui sépare cette carrière du passage à niveau du Haut-Banc.

Calcaire d'aspect compact qui paraît, dans l'ensemble, de texture granuleuse avec petits épisodes graveleux ou grumeleux. — Pas ou peu d'organismes.

Complexe blanchâtre moyen de 1 m. 60 environ :

Petits bancs d'aspect compact et de texture en apparence granuleuse, séparés par de minces cordons jaunes ou rouges altérés — d'où relief des bancs compacts. Ces délits sont de structure compacte et de texture grumeleuse plus ou moins fine, légèrement dolomitique (points gris).

Gros banc blanchâtre de 0 m. 45.

Complexe blanchâtre inférieur de 2 m. 95 :

Complexe à structure compacte, divisé en petits bancs par des cordons jaunes et rouges.

Des petits bancs ou « plaquettes », il n'y a rien à dire de plus ; par contre, je m'arrêterai quelque peu à l'étude des délits interstitiels dont j'analyserai la texture en lame mince et les résidus après attaque par l'acide chlorhydrique. Il est difficile de se prononcer avec certitude sur leur texture, de préciser si elle est graveleuse ou simplement granuleuse car ils sont souvent recoupés de multiples et fines lignes horizontales qui morcellent le sédiment et lui donnent l'aspect d'un graveleux (cf. Pl. XXI, fig. 100) ; difficulté encore augmentée du fait que ces horizons sont souvent très dolomitisés (cf. Pl. XXI, fig. 97 et 98).

Il est un fait certain cependant c'est que ces niveaux sont souvent franchement organiques (cf. Pl. XXI, fig. 97 et 100) : ce sont en grande majorité des esquilles de Brachiopodes avec des épines éparses çà et là ; il faut y ajouter des entroques, des radioles de Paléchinides et des Bryozoaires en tout petits fragments réduits à une ou deux cellules.

Mais, si les organismes animaux y jouent une part importante, il semble que les végétaux n'en soient pas tout à fait absents. Un cas particulièrement intéressant mérite d'être signalé : il s'agit d'un cordon pulvérulent de teinte jaune brun qui se montre chargé de très petits bâtonnets clairs tranchant sur le fond sombre (matières organiques) du sédiment. Ces bâtonnets sont des sections longitudinales de tubes à parois granuleuses et à lumière remplie de calcite hyaline. Ils sont diversement orientés : en certains points de la préparation (taillée suivant l'épaisseur du cordon), ils sont, dans l'ensemble, allongés horizontalement ; ailleurs, ils peuvent être dressés verticalement ou même, agencés, former des pelotonnements. Le sédiment, peu transparent, ne permet pas d'en dire davantage ; il semble néanmoins que ces tubes présentent des bifurcations, et qu'il s'agisse là d'Algues siphonées voisines de celles que j'ai décrites plus haut, accumulées pêle-mêle au hasard des courants qui, dans le cas présent, ont amené des lambeaux

d'Algues tandis qu'en d'autres endroits ils charriaient des fragments de Brachiopodes... etc.

Les trois délits interstitiels que je viens de décrire et dont j'ai fait l'étude des résidus montrent quelques points communs : ils sont abondamment chargés de quartz détritique, et de nature organique (fragments d'animaux et de végétaux).

C. — Calcaire granuleux en plages irrégulières.

Le calcaire granuleux se rencontre encore, sous forme de *plages irrégulières,* au sein de calcaires grumeleux nettement organiques, mais dont les organismes plus ou moins complètement périmés ne montrent plus de texture nette (cf. Pl. XXI, fig. 99). Ces plages granuleuses sont fréquentes dans le marbre Henriette et je les ai signalées comme une des manières d'être normales des *Corydopodium* fossiles (marbre Pattes d'Alouettes). Chez ces derniers, les plages granuleuses se présentent sous divers aspects.

Les unes sont foncées, d'un gris noir, — ce sont des portions plus ou moins étendues de thalle dont la texture a disparu mais qui ont gardé leur structure, leur dessin d'ensemble.

D'autres, d'un aspect dépoli, transparentes et de teinte gris clair ne présentent plus de structure ni de texture apparentes, mais laissent deviner, sur le dépoli clair du fond, des ombres qui, à coup sûr, sont les vestiges de la texture disparue. Ici, toute la plage est d'un dépoli uniforme et de texture granuleuse ; — dans les plages gris-noir à structure conservée, au contraire, les lames organiques sont de calcaire granuleux, et les remplissages interlaminaires de calcite cristalline en mosaïque.

D. — Mouches de calcaire granuleux.

Je noterai enfin, pour simple mémoire, que le calcaire granuleux *sous forme de petits amas* se retrouve *dans presque tous les facies calcaires:* il compose essentiellement la roche dans les calcaires compacts à texture granuleuse, — il prend une part plus ou moins importante à la constitution de la matrice dans les calcaires grenus à grain fin et dans les calcaires grenus de grain moyen ou grossier, — c'est encore lui, sous forme d'éléments figurés, qui constitue les calcaires grumeleux et graveleux, — etc....

II. — INTERPRETATION DES ASPECTS DIVERS SOUS LESQUELS SE PRESENTE LE CALCAIRE GRANULEUX.

A. — Le granule ; son origine.

Tout d'abord, poser la question du calcaire granuleux c'est poser celle de l'origine du granule.

Multiples sans doute peuvent être les causes qui amènent la précipitation du granule de carbonate de calcium, causes d'ordre physique, chimique, ou résultant de l'activité vitale des organismes.

Certains d'entre eux, de leur vivant, incrustent leur membrane de carbonate de calcium sous forme de tout petits granules ; ainsi s'explique la nature granuleuse des parois chez les Girvanelles, les *Polymorphocodium* (marbre Henriette), les *Mitcheldeania* — et des membranes limitantes chez *Corydopodium* (marbre Pattes d'Alouettes) etc...

Les mouches granuleuses qui maculent les sédiments calcaires s'expliqueraient selon moi d'une manière tout autre: sur le fond marin, pêle-mêle, sont entassés végétaux, animaux divers entiers ou en esquilles, matières organiques en voie de désintégration provenant des végétaux et des animaux tombés sur le fond. Ces matières organiques en décomposition seraient un lieu d'élection pour les échanges chimiques et ces petits amas irréguliers de granules de carbonate de calcium seraient le vestige de matières organiques accumulées sur le fond et qui auraient disparu ne laissant derrière elles comme témoin de leur présence que ces menus cristaux [170].

J'ai en outre, à l'occasion du marbre «Pattes d'Alouettes», signalé la tendance que présentaient certains organismes à résoudre tout ou partie de leurs lames en calcaire granuleux. Le calcaire granuleux résulterait donc, en partie au moins, de l'activité propre des organismes (réactions chimiques produites du vivant de l'organisme et provoquées par lui) ou bien de réactions chimiques qui se seraient établies aux dépens de ces restes en décomposition.

170. Un fait d'observation banal vient confirmer cette explication. Je le retrouve au milieu de vieux souvenirs se rapportant à une promenade faite en compagnie de C. EG. BERTRAND. Des excréments de chien qui avaient séjourné à l'air dans des conditions que je ne puis préciser étaient saupoudrés d'une matière blanche pulvérulente semblable à du sucre. Cette poudre blanche éparse était constituée par de menus cristaux de carbonate de calcium dont je n'ai pas songé sur l'heure à vérifier la forme cristalline et qui, sans doute, s'étaient formés en présence du gaz carbonique de l'atmosphère aux dépens de sels calcaires que renfermaient ces excréments.

B. — Les diverses manières d'être du calcaire granuleux ; leur interprétation.

Il me semble que, du point de vue genèse, il faille rapprocher les cas décrits sous les lettres A et C (cf. pp. 186 et 189) et y voir des phénomènes de recristallisation plus ou moins complète. Mais il semble malaisé de légitimer par des raisons valables cette hypothèse du moins pour tous les cas décrits.

1. — *Calcaire granuleux en plages irrégulières.*

Qu'il y ait, dans le cas C (cf. Pl. XXI, fig. 99), phénomène véritable de recristallisation, ceci me paraît difficile à mettre en doute : d'abord, du fait que la texture organique est périmée, puis, parce qu'on en soupçonne un vestige, d'ailleurs vague, sous forme de mouches ou d'ombres plus ou moins foncées et plus ou moins étendues. Les parties foncées sont dans l'état originel et n'ont pas subi de recristallisation ; elles sont plus foncées non pas seulement du fait des matières organiques qu'elles pourraient retenir emprisonnées, mais parce que l'élément calcaire, le granule, y est de taille plus petite que dans le cas du calcaire granuleux d'aspect dépoli et que le phénomène de réflexion totale, de ce chef, y est plus général. En dehors de ces plages à structure organique conservée, la recristallisation a transformé le sédiment primitif essentiellement organique en une plage de calcaire en mosaïque à éléments grossiers ou à éléments fins (calcaire granuleux d'aspect dépoli avec mouches organiques) sans qu'on puisse assigner une cause indiscutable à cette différence de grain.

2. — *Rubans de calcaire granuleux.*

Mais, si ce phénomène de recristallisation paraît évident dans le cas d'organismes à texture périmée et à plages granuleuses (cas C, cf. Pl. XXI, fig. 99), s'il paraît expliquer d'une façon plausible certains rubans compacts de texture granuleuse, par exemple les rubans qui interrompent les successions grumeleuses que nous savons être généralement de nature organique (cas A partim, cf. Pl. XXI, fig 95 et 96), peut-on interpréter par un phénomène analogue le ruban granuleux figuré à la planche XXII sous les numéros 101 et 102?

Ce ruban granuleux interrompt une série gravelo-oolithique ; il se termine à sa partie supérieure, au contact du facies gravelo-oolithique, par une ligne stylolithique très accidentée et à denticules très irréguliers. La transition du facies granuleux au sédiment gravelo-ooli-

thique est très brusque. Au contact de cette ligne stylolithique, certaines gravelles et oolithes sont en partie rongées et seule leur moitié supérieure est reconnaissable comme graveleuse et oolithique, leur portion inférieure se fondant dans le calcaire granuleux du ruban. En un autre point de la surface stylolithique, on voit une dent très aiguë percer de part en part une oolithe sans qu'il y ait dislocation ni déplacement relatif des deux portions (cf. Pl. XXII, fig. 101). Un peu plus loin enfin, la ligne stylolithique disparaît (pour remonter peut-être dans le sédiment gravelo-oolithique?) et il y a pénétration d'éléments graveleux et oolithiques dans le sédiment granuleux sous-jacent (cf. Pl. XXII, fig. 102).

a. — Il est difficile d'interpréter ces faits d'une manière absolument satisfaisante.

Le fait que les gravelles et les oolithes sont comme rongées au contact de la ligne stylolithique tendrait à faire admettre que le ruban granuleux était consolidé quand l'épisode gravelo-oolithique a repris et que le lit granuleux était plus résistant que les éléments structurés qui s'y déposaient, cette corrosion s'expliquant assez naturellement par la pression qui croissait au fur et à mesure du dépôt du sédiment oolithique. En d'autres points, il semble que les facteurs fussent renversés, puisque les gravelles et les oolithes sont restées entières et sont enrobées dans le sédiment granuleux.

b. — Il me semble difficile d'admettre ici l'hypothèse d'une recristallisation qui, partant d'un même sédiment, aurait abouti à des résultats si différents : d'une part, une recristallisation complète donnant naissance à un calcaire granuleux d'une pareille homogénéité ; d'autre part, une recristallisation ménagée qui n'aurait atteint que la matrice et quelques-uns des éléments figurés, aux dépens desquels se serait formée la mosaïque qui les enrobe. Il me paraît moins anormal d'interpréter ce calcaire granuleux comme primaire ; comme un louche, un dépôt fin qui aurait sédimenté, interrompant momentanément une formation de caractère plus grossier (calcaire gravelo-oolithique), un dépôt fin plus ou moins consolidé, ferme en certains points, mou et visqueux en d'autres où les gravelles auraient pu pénétrer sans altération même partielle de leur surface. Quant aux taches plus sombres, aux gravelles bien conservées, aux menues esquilles qui se rencontrent dans l'épaisseur de ce calcaire granuleux (mais qui y sont néanmoins rares), amenées avec le sédiment fin qui a donné naissance au calcaire granuleux, elles se seraient sédimentées avec lui.

3. — *Calcaire en plaquettes :*

Le deuxième cas (cf. Facies I, B.) est d'interprétation plus aisée : les calcaires en plaquettes sont le résultat d'une sédimentation effectuée

sous l'action des courants ; les épisodes graveleux, organiques et granuleux s'y sont déposés normalement, en raison directe de la densité de leurs éléments.

CHAPITRE II.

LE CALCAIRE GRAVELEUX.

I. — LES GRAVELLES.

Le calcaire graveleux ne se peut mieux comparer qu'à un gravier calcaire consolidé, dont les éléments figurés ou «*gravelles*» sont épars au sein d'une calcite plus ou moins développée ou «*matrice*» qui constitue le fond de la roche.

Les gravelles ont ceci de particulier qu'elles se présentent sous forme de petits fragments calcaires à contours arrondis et de formes variées, et que, contrairement aux calcaires oolithiques et gravelo-oolithiques, elles ne montrent jamais de croûte ou de revêtement, même à l'état d'ébauche.

M. CAYEUX les appelle « pseudo-oolithes », et M. KAISIN « oolithes » ; il me paraît légitime et préférable, après mon maître le Professeur J. DE LAPPARENT, de faire de ces calcaires à gravelles un facies distinct et bien défini sous le nom de *Calcaire graveleux* — cette dénomination, ici comme pour les autres facies, n'ayant rien d'absolu et mettant simplement en relief la note dominante.

La taille des gravelles et leur nature varient beaucoup avec les calcaires graveleux, en raison même des sédiments aux dépens desquels ces calcaires se sont formés. Elles pourront être toutes d'un beau calcaire granuleux noir foncé (cf. Pl. XXII, fig. 103), agrémenté suivant les cas de vermiculures du type Henriette ou présentant de minuscules particules cristallines de détermination délicate mais parmi lesquelles j'ai pu identifier des fragments de test d'Ostracodes et des débris de Tabulés, toutes ces gravelles provenant d'un seul et même sédiment, les premières fournies par des fragments roulés de *Polymorphocodium*, les secondes par la gangue qui enrobe cet organisme. D'autres graveleux résultent d'un mélange d'éléments de facies variés. Les fragments orga-

niques plus ou moins roulés sont rarement absents ; ils sont parfois assez nombreux pour être la note dominante du graveleux (cf. Pl. XXII, fig. 107). Ainsi est-il possible de rencontrer tous les passages entre un graveleux détritique (cf. Pl. XXII, fig. 103 et 104) à gravelles organiques rares et un graveleux organo-détritique formé en partie de débris organiques amenuisés et arrondis (cf. Pl. XXII, fig. 105 et 107).

II. — DIVERS TYPES DE CALCAIRES GRAVELEUX.

Pour définir les calcaires graveleux d'une manière complète, il faut, outre les gravelles, considérer d'une part le ciment, la matrice dans laquelle elles sont enrobées — d'autre part, les rapports et proportions respectives de ces deux éléments.

Pour l'étude détaillée de ce facies, je passerai en revue deux types de graveleux que je considère comme deux types extrêmes, l'un à fragments distants dans une matrice très développée, l'autre à éléments entassés et à matrice presque inexistante.

1^er^ Type: Gravelles éparses dans une calcite matricielle très développée (cf. Pl. XXII, fig. 103 et 104).

Les gravelles peuvent être de natures diverses, de tailles et de formes variées ; elles sont constituées par des fragments calcaires des types granuleux, grumeleux et grenu à grain fin au milieu desquels nagent des débris organiques (article d'Echinoderme, fragment roulé d'Algue tubulaire, etc...).

A côté de graveleux à éléments bien définis, de structure et de texture bien conservées, il en est d'autres dont les gravelles sont plus ou moins profondément oblitérées (cf. Pl. XXII, fig. 104) et remplacées soit par des taches granuleuses d'aspect dépoli, soit par une fine mosaïque maculée de matières organiques et qui laisse subsister par places des îlots granuleux, soit enfin par une calcite hyaline largement cristallisée et limitée par un cerne de calcaire granuleux, seul vestige de l'antique gravelle. Ces gravelles ne se touchent pas ; elles sont éparses au sein d'une matrice très développée et qui est du type mosaïque.

Il me semble établi que les gravelles altérées ne se sont pas déposées dans l'état où elles s'observent aujourd'hui. Cette affirmation, précaire et dont il est malaisé de fournir la preuve pour l'ensemble des gravelles altérées, ressort, à l'évidence, de l'examen de celles qui ont atteint le maximum d'altération et qui sont réduites à un cerne incomplet de cal-

caire en granules. Les gravelles ayant, pour l'ordinaire, un contour très net, j'expliquerais par un phénomène analogue de corrosion toutes celles qui présentent des contours flous, indécis et irréguliers, quoique souvent dans leur voisinage immédiat la matrice soit différemment et moins largement cristallisée.

Ainsi, dans le graveleux ci-dessus analysé, la matrice serait secondaire et de recristallisation ; la matrice secondaire se serait formée aux dépens de la matrice originelle et d'un certain nombre de gravelles. De ces gravelles, il est vraisemblable que quelques-unes ont disparu sans laisser de traces et ont été remplacées par une mosaïque de calcite banale, les autres ayant été plus ou moins profondément altérées. Un fait reste à signaler, curieux et dont je ne puis, pour l'heure, proposer d'explication pleinement satisfaisante, c'est la multiplicité d'allures que prend la calcite secondaire : larges plages hyalines, large mosaïque, granules.

Cette interprétation vaudrait aussi pour certains calcaires grumeleux encore que la preuve en soit plus difficile à établir en raison même de l'indécision de contour des grumeaux.

2° **Type : Calcaire graveleux à matrice presque inexistante** (cf. Pl. XXII, fig. 105, 106).

1. — Dans l'ensemble, les gravelles sont de petite taille et constituées en grande partie par des débris organiques. Ce sont surtout, et parfois en quantité considérable, des fragments d'Echinodermes parmi lesquels se distinguent des articles de Crinoïdes et de loin en loin quelques radioles d'Oursins — des Brachiopodes entiers ou en longues et fines esquilles ; il faut y ajouter, comme organismes assez constants, des Foraminifères du type *Endothyra*, des Granulosphères, des fragments de Tabulés et des débris recristallisés qui doivent appartenir à quelque Gastéropode.

De toute évidence, ces petites balles se sont déposées à l'état d'éléments consolidés car on n'observe aucune déformation de leur surface ; mais, fréquemment, sous le poids des matériaux accumulés on les voit se pénétrer, s'impressionner sans que leur forme générale en soit affectée. De deux gravelles au contact on voit l'une garder sa forme parfaitement régulière, tandis que l'autre subit une dissolution locale de la paroi en contact ; parfois les deux gravelles sont également affectées. Cet impressionnement est, dans certains cas, très accentué, au point de fusionner plusieurs gravelles et de transformer l'ensemble en une masse granu-

leuse dans laquelle les limites des gravelles ont disparu (cf. Pl. XXII, fig. 105 et 106, partie centrale).

Du fait de cet impressionnement et aussi de la petite taille des gravelles qui s'insinuent dans les interstices, la matrice est très réduite partout et, en certains points même, inexistante. Elle est largement cristallisée et les interstices restés libres entre les gravelles sont souvent occupés par un individu unique de calcite d'un aspect hyalin tout particulier (cf. Pl. XXII, fig. 106), mais qui laisse parfois voir par transparence une tache plus sombre, vestige d'une gravelle ou d'un organisme disparu. Le cas est fréquent, ordinaire même, au voisinage des fragments d'Echinodermes où la calcite matricielle s'oriente sur l'individu de calcite qui constitue le fragment organique et le prolonge à l'extérieur, montrant à l'extinction une large plage sombre au milieu de laquelle ressort en grisé l'article d'Echinoderme.

Il me paraît évident que la matrice s'est formée, au moins en partie, aux dépens de quelques éléments figurés, puisque j'ai trouvé des granules de carbonate de calcium orientés, en plein milieu d'une plage de calcite hyaline, et, en d'autres points, le vestige, sous forme de pigments bruns, de fragments organiques oblitérés. Il y a donc eu réaction de la matrice sur les éléments figurés ; mais cette réaction a été très ménagée.

2. — Est-il nécessaire d'admettre que ces phénomènes aient été secondaires? Y a-t-il eu recristallisation véritable, ou simplement réaction de la matrice sur quelques éléments figurés au moment de la consolidation du sédiment? — Qu'il y ait eu localement recristallisation, cela ne saurait faire de doute, puisque le sédiment montre en fait des plages plus ou moins recristallisées ; mais il faut ajouter aussi que ces plages recristallisées ne montrent pas à l'ordinaire pareille homogénéité : c'est une mosaïque de cristaux de tailles variées dans laquelle nagent, sous forme de taches sombres, des mouches de calcaire granuleux, vestiges des anciennes gravelles.

III. — CLASSIFICATION DES CALCAIRES GRAVELEUX.

Il y a lieu de distinguer, parmi les calcaires graveleux, des graveleux *à structure compacte* et *à structure grenue* ; ces termes de compact et de grenu se référant toujours à un aspect d'ensemble, à une manière d'être du fond de la roche, ici donc de la matrice.

Si la matrice est très réduite ou même pratiquement inexistante, la roche se présentera, à l'œil nu et parfois même à la loupe à main, comme un calcaire compact dont on pourra fort bien ne déceler la texture qu'au binoculaire ou en lame mince. Ce sera le cas des graveleux dans lesquels les phénomènes d'impressionnement sont très accentués — de ceux à éléments figurés de tailles variées, les petites remplissant les vides interstitiels laissés entre eux par les plus gros.

Au contraire, si les éléments sont distants, épars au sein d'une matrice largement développée, j'en ferai des graveleux grenus, fins ou grossiers suivant la taille des éléments figurés.

Ces calcaires, *compacts de texture graveleuse* et *grenus de texture graveleuse,* seront dits de nature détritique ou organo-détritique suivant la qualité des éléments figurés qui les constituent.

IV. — FORMATION DES CALCAIRES GRAVELEUX.

Les calcaires graveleux résultent du remaniement par les eaux et les courants de sédiments de facies divers. Ce remaniement a été plus ou moins accentué, accompagné ou non de transport ; des graveleux se rencontrent en effet dont les éléments sont irréguliers, anguleux et incomplètement arrondis (passage du graveleux au grumeleux) —, et d'autres à gravelles parfaitement arrondies (graveleux types). De ces derniers, les uns résultent d'accumulations hâtives (graveleux à gravelles impressionnées), d'autres ont sédimenté plus lentement. Dans beaucoup de cas, les graveleux ont subi une recristallisation de leur matrice dont témoigne, de-ci de-là, la corrosion des gravelles.

CHAPITRE III.

LES CALCAIRES OOLITHIQUES.

L'étude des sédiments du Calcaire carbonifère m'a amené à faire deux constatations : multiples sont les manières d'être sous lesquelles peut se présenter un facies, et multiples sont les formes de passage entre facies voisins — et l'on peut imaginer toute une série de dépôts qui iraient des calcaires grumeleux et granuleux aux calcaires oolithiques francs. Aussi essaierai-je de définir nettement ce qu'il faut entendre par « calcaire oolithique » et d'énoncer les diverses modalités sous lesquelles peut se présenter à nous cette formation.

I. — DEFINITION DE L'OOLITHE ; LES FACIES OOLITHIQUES.

Sous sa forme type, le calcaire oolithique est constitué par de multiples petites balles, régulières, de forme sphérique ou elliptique, et structurées, éparses au sein d'une calcite interstitielle ou matrice. Ces oolithes présentent toujours un *noyau central*, petit corps de nature variée, organique ou non, *recouvert d'une croûte plus ou moins épaisse de carbonate de calcium cristallisé.*

Ces croûtes se présentent sous deux aspects différents : elles sont homogènes et de texture fibro-radiaire ou formées de minces pellicules concentriques.

Dans les oolithes à texture fibro-radiaire, l'allure fibreuse, très nette en lumière naturelle, s'accentue encore en lumière polarisée et donne naissance à une croix noire, qui, en lame mince, est striée de ponctuations rouges et vertes. Cet aspect fibreux est dû à la présence de longs et fins prismes de calcite disposés radialement suivant leur grand

axe autour du noyau central. A la calcite hyaline et fibreuse qui constitue les croûtes s'ajoute du carbonate de calcium en tout petits granules qui, disposés en files radiales, soulignent comme de petits coups de pinceau et accentuent l'allure fibro-radiaire de l'ensemble. Ces granules se présentent parfois en amas informes et disposés au hasard dans l'épaisseur de la croûte, parfois en traînées épaisses qui rayonnent autour du noyau.

Dans la majorité des balles oolithiques, la texture fibro-radiaire est nettement accusée ; elle est, dans certains sédiments de structure oolithique, compliquée d'une *zonation concentrique* plus ou moins marquée. Outre les granules de carbonate de calcium qui rayonnent autour du noyau en taches plus ou moins régulières, il en est qui sont orientés parallèlement à la surface. Ils dessinent en général de minces lignes noires qui, se répétant dans l'épaisseur de la croûte, communiquent à l'ensemble une structure concentrique souvent discontinue mais néanmoins très nette. La présence simultanée du corpuscule central et de la croûte permettra toujours de distinguer une oolithe franche d'un calcaire de grumeaux ou d'un calcaire graveleux. Les caractères différentiels fournis par les oolithes, par les noyaux et leurs revêtements et par la matrice n'ont d'intérêt pour nous qu'autant qu'ils correspondent à une différence de structure du sédiment lui-même — et, de ce point de vue, nous pouvons distinguer, parmi les calcaires oolithiques, des calcaires oolithiques à structure entrecroisée et des calcaires oolithiques rubanés.

A. — Calcaires oolithiques à structure entrecroisée.

1. — 1^er^ *type extrême : calcaire oolithique à large matrice.*

Comme type de calcaire oolithique à structure entrecroisée et à large matrice, je prendrai l'oolithe à *Productus sublaevis* du Viséen inférieur de Landelies (près Charleroi) [171]. Les oolithes, très fines de dessin, et de grande taille, présentent d'une manière générale la double texture concentrique et radiaire dont j'ai fait mention plus haut. Les noyaux visibles sont constitués par de nombreux fragments d'Echinodermes et de Gastéropodes, des Foraminifères du type *Endothyra* et, de loin en loin, une coquille de Brachiopode ou un Ostracode en amande.

Echinodermes et Gastéropodes se rencontrent en outre dans la matrice à l'état de fragments plus ou moins gros. Les balles oolithiques

171. J'ai choisi à dessein ce type dans le Calcaire carbonifère de la Belgique parce que je n'en ai point trouvé d'aussi net dans le Boulonnais, à cause du grand développement de sa matrice et du caractère très particulier qu'elle présente.

reposent les unes sur les autres sans se déformer et sans s'impressionner ; elles sont de tailles variées à un même niveau, avec prédominance toutefois d'éléments de petite taille ou de grande taille. D'où il semble légitime de conclure que, de ces éléments, les plus lourds se sont déposés les premiers.

La calcite matricielle qui moule les éléments figurés s'est orientée sur eux et forme à leur surface une auréole d'un brun clair qui tranche sur l'aspect granuleux et foncé de l'élément figuré. Au microscope, cette auréole présente une texture radiaire due au développement de prismes normaux à la surface des balles. Si les oolithes ne sont pas trop distantes les unes des autres, les prismes qui constituent ces auréoles, en s'allongeant, finissent par entrer en contact ; elles constituent à elles seules, dans ce cas, toute la matrice interstitielle. Par places, les auréoles ont laissé subsister des méats qui ont été ultérieurement remplis par de la calcite ; cette calcite d'ordinaire largement cristallisée, affecte parfois la forme granuleuse (cf. Pl. XXIII, fig. 109).

2. — 2e *type extrême : Calcaire oolithique à matrice presque inexistante.*

En raison du développement de sa matrice, l'oolithe à *Productus sublaevis* de Landelies est aisée à déterminer tant à l'œil nu qu'à la loupe, que sa cassure soit fraîche ou sa surface altérée ; dans ce dernier cas, le noyau tranche en gris foncé sur la teinte blanc-laiteux de la croûte. Il n'en est pas de même de l'oolithe interstratifiée à la partie supérieure du niveau dolomitique à *Lithostrotion Martini* (Boulonnais, carrière Hénaux de la Vallée Heureuse).

C'est un calcaire oolithique à structure entrecroisée ; il est « *compact* », la matrice faisant en effet presque complètement défaut. Les petites balles oolithiques à texture prédominante fibro-radiée et peu granuleuses ont leur noyau relativement volumineux et leurs croûtes minces. En contact étroit les unes avec les autres, elles ne présentent aucune déformation d'ensemble mais elles s'entrepénètrent « *s'impressionnent* » au point de former des amas destitués de toute calcite interstitielle. C'est à cette pénétration des oolithes les unes dans les autres qu'est dû l'aspect compact de ce sédiment (cf. Pl. XXIII, fig. 110). Ce phénomène de compénétration est ici remarquablement accentué : dans la majorité des cas, il se limite à la croûte même de l'oolithe qui disparaît plus ou moins complètement au point de contact ; parfois il atteint jusqu'au noyau de l'oolithe.

Ces noyaux sont constitués, en majeure partie, par des Foraminifères du type *Endothyra* et par des Granulosphères. Quelques fragments

d'Echinodermes et de Tabulés, quelques esquilles de Brachiopodes et d'Ostracodes interviennent encore dans leur constitution, en même temps que de nombreux fragments de calcaire granuleux.

La matrice, très réduite, est de calcite en mosaïque ; en certains points cependant elle est plus largement cristallisée et tout l'espace resté libre entre les oolithes est occupé par un individu unique de calcite. Le phénomène d'orientation de la matrice à la surface des balles oolithiques est ici moins accentué et moins généralisé.

3. — *Variations intermédiaires.*

J'ai choisi à dessein les deux calcaires oolithiques dont je viens de faire brièvement la description ; j'en fais comme les deux chaînons extrêmes de la série des calcaires oolithiques à structure entrecroisée, l'un ayant une matrice largement développée de calcite hyaline (calcaire oolithique *grenu* à structure entrecroisée, cf. Pl. XXIII, fig. 109) — et l'autre une matrice à peu près inexistante (calcaire oolithique *compact* à structure entrecroisée, cf. Pl. XXIII, fig. 110).

La compacité du sédiment par raréfaction de la matrice peut dépendre d'autres circonstances. C'est ainsi que, dans les espaces laissés libres entre les oolithes, des éléments figurés de natures diverses peuvent se déposer, réduisant considérablement la matrice et transformant le sédiment en un calcaire d'aspect compact. Ces éléments figurés peuvent être des oolithes de petite taille, de menues gravelles, ou de fins grumeaux (cf. Pl. XXIII, fig. 111) ; parfois, aux grumeaux et aux gravelles peut s'ajouter une certaine proportion de vase calcaire sous forme de calcaire granuleux. La compacité du sédiment peut résulter aussi de l'identité de nature et, par le fait même, d'aspect, de la matrice et des éléments figurés, tous deux pouvant être hyalins (cf. Pl. XXIII, fig. 110) ou, au contraire, abondamment chargés de calcaire granuleux (cf. Pl. XXIII, fig. 111).

La calcite interstitielle est plus ou moins largement développée et plus ou moins homogène. J'ai décrit sa manière d'être spéciale dans l'oolithe de Landelies, qu'il me suffise d'ajouter que, pour l'ordinaire, dans les sédiments du Carbonifère boulonnais, elle est réduite et de calcite en mosaïque ; ce qui n'empêche pas que, de-ci de-là, on constate que la calcite a pu s'orienter sur les fibres radiaires des croûtes oolithiques ou sur un fragment libre d'Echinoderme, matrice et fragment formant un seul individu de calcite qui s'éclaire et s'éteint tout d'un coup.

B. — Oolithes rubanées.

Les calcaires oolithiques rubanés sont *essentiellement* caractérisés par la présence, au sein du dépôt, de lignes plus ou moins épaisses, sortes de croûtes de même nature que les oolithes et divisant le sédiment en un certain nombre de rubans superposés (cf. Pl. XXIII, fig. 113 et 115). Les bancs rubanés sont nombreux dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais, mais ceux qui ont un caractère oolithique franc sont localisés immédiatement sous la grande masse du « Calcaire Napoléon » (carrière Hénaux). On en trouve également un horizon dans le Viséen supérieur de la région de Namèche (parties oolithiques du niveau de la Grande Brèche, qui doivent correspondre à celles qui font le passage, dans le Boulonnais, du « Calcaire Lunel » au « Calcaire Napoléon ».

1. —*Bancs rubanés oolithiques viséens du Boulonnais.*

Ces bancs ne sont pas exclusivement oolithiques ; ils représentent un complexe, comme on en peut juger par la succession suivante :

(ht.)— Calcaire grumeleux avec oolithes de petite taille ;
croûte de faible épaisseur, formée de balles écrasées.
— Calcaire grumeleux avec oolithes de petite taille ;
croûte de faible épaisseur, formée de balles écrasées.
— Calcaire grumeleux avec oolithes dont quelques-unes de grande taille.

.....

soupçon de croûte ou simple changement de grain de la roche.
— *Niveau oolithique*
à oolithes plus petites et grumeaux plus nombreux —
à grosses oolithes pressées les unes contre les autres avec grumeaux interstitiels.

.....

changement de grain plutôt que croûte.
— Calcaire grumeleux avec quelques petites balles ;
(noyau grumeleux de grande taille entouré d'une mince pelure
(bas) de calcite).

Les oolithes rubanées du calcaire viséen du Boulonnais sont constituées par des alternances plus ou moins régulières de dépôts grumeleux et de dépôts oolithiques ; les deux facies sont mis en évidence par la teinte même des rubans : les rubans blancs étant surtout grumeleux et les rubans plus ou moins foncés surtout oolithiques. Après avoir analysé ces rubans, je dirai quelques mots des facies analogues à Landelies et à Namèche.

a. — *Les rubans foncés sont nettement oolithiques* ; certains montrent une périodicité qui ne manque pas d'intérêt. Le ruban, dans sa portion basale, est constitué par des oolithes de grande taille espacées dans une matrice largement développée et abondamment chargée de grumeaux nus ou munis d'une mince croûte, d'Ostracodes en noyaux amygdalaires (cf. Pl. XXIII, fig. 113) ou en esquilles. Lorsque, par endroits, les grumeaux font place à du calcaire granuleux, ce calcaire granuleux se montre criblé de points cristallins qui sont, en majeure partie, de tout petits Ostracodes en amande, des esquilles et des fragments d'esquilles appartenant à ces mêmes organismes. Dans la portion supérieure du ruban, la taille des balles oolithiques change brusquement ; de petite taille, ces balles sont entassées les unes sur les autres, réduisant ainsi à rien ou à peu près rien la calcite interstitielle (cf. Pl. XXIII, fig. 113, moitié inférieure). J'ai observé quelques cas de déformation de balles oolithiques entrées en contact, mais je n'ai pas l'impression que ce phénomène soit général ; en certains points cependant, il semble qu'elles aient été assez souples pour s'aplatir complètement et donner naissance à de fausses croûtes (cf. Pl. XXIII, fig. 114).

Les *noyaux* des oolithes, de nature très uniforme, sont constitués soit par du calcaire granuleux, probablement des grumeaux régularisés par le mouvement rotatoire, — soit par des Ostracodes entiers et du type « en amande » (j'en compte près de 25 entiers et très nets dans la lame mince à l'étude, cette lame étant de 1,5 centimètre carré). Les balles oolithiques sont, dans l'ensemble, moins régulières de forme et de texture ; ces éléments figurés sont d'apparence compacte, irrégulièrement mouchetés ou zonés de calcaire granuleux. Les dispositions radiaire et concentrique y sont moins nettement accusées, les mouches de calcaire granuleux faisant défaut ou étant réparties au hasard dans l'épaisseur de la croûte et communiquant à ces balles une allure caractéristique. Il me paraît commode de les définir du terme d'oolithes « *moussues* » (cf. Pl. XXIII, fig. 114 dans l'ensemble et 112).

Les *croûtes* horizontales qui limitent les rubans ou dépôts successifs, se présentent sous forme de lignes sinueuses épaisses et continues. Alternativement brun clair et noir foncé, elles reproduisent la texture type des balles oolithiques à écailles concentriques (cf. Pl. XXIII, fig. 113 et 115). Les portions claires sont constituées par de la calcite hyaline en prismes dressés et normaux à la surface du sédiment — les portions foncées et granuleuses par du carbonate de calcium en granules ou en grumeaux aplatis. Dans ce dernier cas, il est juste de dire que l'alternance n'est pas aussi régulière et que l'ensemble se présente sous forme d'une plage hyaline plus ou moins ponctuée ou lignée de calcaire granuleux. L'allure rubanée du sédiment peut résulter aussi d'un changement de facies ou d'une modification dans la taille des éléments figurés.

b. — Les *rubans clairs*, blancs ou jaunâtres, sont formés par l'accumulation de grumeaux et de flocons, parfois aussi de toutes petites balles oolithiques. Les Ostracodes, rares dans ces rubans grumeleux, se retrouvent dès que reparaissent les oolithes.

2. — *Calcaires oolithiques rubanés de même niveau dans le Calcaire carbonifère belge.*

La déformation des balles oolithiques est plus accentuée dans les bancs rubanés du Viséen supérieur de Namèche et de Landelies. Dans cette dernière localité, les rubanés reposent sur la Grande Brèche, mais stratigraphiquement, ils lui sont subordonnés ; les strates en effet y sont renversées. Il n'y a aucun doute que ces facies sont rigoureusement du même niveau que les rubanés oolithiques que j'ai décrits plus haut, et qu'ils sont tous immédiatement subordonnés à la Grande Brèche viséenne (Marbre Napoléon Grand Mélange du Boulonnais).

Ce sont des calcaires brun noir, recoupés de fins délits horizontaux sensiblement plus foncés qui en font un ruban (peu net à la loupe). N'étaient quelques points noirs plus foncés que le calcaire dans lequel ils nagent, le sédiment passerait pour un calcaire compact ou un grumeleux extrêmement fin dont le grain ne se distingue pas aisément sans lame mince. En réalité, ce sont des dépôts grumeleux interrompus par des épisodes oolithiques plus ou moins accentués, la différence de grain des dépôts simulant un véritable rubanement. Les croûtes du type de celles que j'ai décrites dans les bancs oolithiques rubanés du Boulonnais sont ici très rares ; ce sont en général de minces délits charbonneux semblables à ceux décrits par M. KAISIN dans le Marbre Noir de Dinant ou des épisodes courts de grain plus grossier et vraisemblablement de nature détritique. J'ai cependant observé dans les niveaux oolithiques de Namèche la formation de très minces croûtes ; elles ressemblent extérieurement aux croûtes horizontales des bancs boulonnais, mais elles n'en montrent ni la régularité ni la netteté et il ne m'est pas possible d'en préciser la texture. Il est un fait certain, c'est que le rubanement est fonction ici du changement de grain de la roche et de sa teneur en matières organiques (zones de calcaire noir, zones de calcaire brun).

Les oolithes sont à contour irrégulier et bossuées ; au contact, elles se déforment et se moulent (cf. Pl. XXIII, fig. 112) comme se déforment et se moulent des corps sans consistance ou des bulles gazeuses (Namèche et Landelies).

Je n'insisterai pas davantage de peur de me répéter et me contenterai d'énumérer certains faits d'importance, à savoir : l'abondance,

ici encore, de petits Ostracodes en noyaux amygdalaires ou en esquilles qui se rencontrent tant dans les noyaux des oolithes que dans la matrice ; la matrice est bourrée de petits grumeaux plus ou moins arrondis ; nombreux sont les petits quartz de néoformation et les nids de magnétite finement cristallisée (Namèche).

II. — SYNTHESE ET ESSAI D'EXPLICATION DES DEPOTS DIVERS D'OOLITHES.

Somme toute, quel que soit le sédiment oolithique auquel on se réfère, calcaire oolithique à structure entrecroisée et calcaire oolithique rubané, la texture de l'oolithe est uniforme ; elle est fibroradiée, les fins prismes de calcite s'étant développés en rayonnant à partir d'un corps étranger qui en tient le centre et en constitue le noyau. Cette texture est parfois très nette, — parfois elle est compliquée de zones concentriques ou plus ou moins masquée par le carbonate de calcium granuleux, — mais toujours elle existe. C'est surtout dans la manière d'être de ces oolithes, dans la nature des noyaux et les caractères de la matrice qu'il faudra chercher les différences fondamentales.

A. — Calcaire oolithique à structure entrecroisée.

Dans les calcaires oolithiques à structure entrecroisée, *je n'ai jamais observé de déformation véritable des balles.* Ou bien, ces balles reposent les unes sur les autres comme feraient des corps durs, des billes d'acier par exemple (Landelies) et, dans ce cas, on constate que dans les portions superficielles qui n'entrent pas en contact, l'oolithe s'est hérissée de prismes de carbonate de calcium (cf. Pl. XXIII, fig. 109), — ou bien les balles sont entrées en contact et se sont impressionnées (cf. Pl. XXIII, fig. 110). Dans les deux cas, à l'évidence, les corps se sont déposés déjà solidifiés, — dans le 1er cas, le dépôt se serait effectué lentement, — dans le 2^{e}, au contraire, il aurait été hâtif, accumulant les matériaux qui par leur seule pression auraient déterminé une dissolution locale de la calcite et conséquemment le phénomène patent de compénétration. Ces oolithes ne se sont pas formées à l'endroit où elles se sont déposées ; elles ont été amenées par des courants. Une fois immobilisées sur le fond, elles se sont hérissées de petits prismes de calcite et le sédiment s'est en partie consolidé de ce fait. Ultérieurement, de la calcite en mosaïque a fini par combler les méats laissés entre les oolithes.

En règle générale, ces calcaires se sont formés dans des eaux relativement pures et aux dépens de facies grenus à organismes, comme en témoignent les noyaux (constitués par des Granulosphères, des Foraminifères, des débris de Crinoïdes, etc.), la netteté de structure de l'oolithe, l'absence de grumeaux dans la matrice, la faiblesse des résidus résultant de l'attaque par l'acide chlorhydrique : peu de matières organiques, et quelques petits quartz de néoformation sous forme de petits prismes bi-pyramidés.

B. — Calcaires oolithiques rubanés (Landelies, Namèche).

Par contre, les bancs rubanés oolithiques sont ordinairement très chargés de matières organiques et laissent à l'attaque un résidu abondant qui couvre le fond de la capsule et un voile irisé qui s'est étendu à la surface du liquide. Dans l'un de ces résidus, j'ai pu observer de nombreuses phyllites, de multiples petits cristaux de feldspath albite et des individus idiomorphes de magnétite. En tenant compte par ailleurs des impuretés et des grumeaux qui chargent les oolithes et de ceux qui encombrent la matrice, en se basant sur le fait que seuls grumeaux et Ostracodes interviennent dans la constitution des noyaux, sur la déformation des balles oolithiques et la présence des croûtes horizontales de quelque nature qu'elles soient, il est logique de conclure que ces sédiments se sont formés dans de tout autres milieux et dans d'autres conditions que les calcaires oolithiques à structure entrecroisée.

L'Ostracode est une forme qui vit de déchets végétaux sur les fonds boueux et calmes, imprégnés de matières organiques en décomposition. Je ne les ai jamais rencontrés en abondance que dans les facies granuleux et grumeleux attribuables tous deux, en partie du moins, à des organismes végétaux inférieurs ; je les ai rencontrés d'une façon habituelle et normale dans certaines formations particulières (bancs récifaux) qui, bien que la preuve absolue n'en ait pas été établie, sont attribuables selon toute vraisemblance à des végétaux inférieurs du groupe des Algues (banc Henriette ; marbres Napoléon gris et Napoléon tigré).

D'autre part, la preuve est faite que ces oolithes se sont formées ou déposées avec une périodicité que le caractère des oolithes et la formation des croûtes rendent particulièrement palpable. Celles de ces balles oolithiques qui sont régulières et de grande taille et qui constituent d'ordinaire la base des rubans, ou bien ont été amenées par les courants déjà consolidées (ce qui est moins probable), ou bien se sont formées sur place dans des conditions qui leur ont permis d'achever leur évolution : elles ne sont en effet pas déformées. Le dépôt a dû se faire avec une extrême lenteur, car les phénomènes d'impressionne-

ment, si fréquents dans les calcaires oolithiques à structure entrecroisée, sont ici exceptionnels. L'agitation des eaux diminuant ou cessant même brusquement, les balles en voie de formation, en bloc, gagnèrent le fond ; de là, la présence à la partie supérieure du ruban d'une accumulation d'oolithes de petite taille, entassées, parfois moulées les unes sur les autres et n'ayant laissé entre elles que des méats très réduits dans lesquels ultérieurement le carbonate de calcium cristallisa sous forme de mosaïque. Le calme se prolongeant, une croûte a recouvert l'ensemble du dépôt. Les mêmes phénomènes ont pu ensuite se reproduire identiques dans le même ordre ou suivant une succession quelque peu différente.

J'inclinerais donc à admettre que ces calcaires rubanés se sont déposés sur place, sur un fond boueux chargé de végétaux en décomposition, dans des eaux mises en mouvement par des courants.

III. — ORIGINE DES OOLITHES.

Des oolithes sont actuellement en formation dans les sources chaudes de Carlsbad en Bohême, de Hamman-Meskoutine (Constantine, Algérie), de Mahatsinjo à Madagascar, etc..., sur les bords du Grand Lac Salé et de la Mer Rouge, dans les boues marines au large de la Floride et des I. Bahamas, etc... En ce qui concerne l'origine de ces oolithes actuelles et celle des oolithes anciennes, deux théories sont en présence : la *théorie organique* qui voit dans les oolithes le résultat de l'activité d'organismes inférieurs appartenant au règne végétal ou animal, — la 2e, qui tient pour purement accidentelle l'association des oolithes avec les organismes et fait appel à un phénomène de *précipitation chimique* que ses tenants expliquent du reste de manières diverses.

A. — Théorie inorganique.

1. — *Précipitation du carbonate de calcium à partir d'eaux bicarbonatées.*

a. — De ces deux théories, la seconde (théorie inorganique) est à la fois la première en date et la plus répandue.

Sir H. T. DE LA BECHE [172] (en 1851) expliquait la formation des sédiments oolithiques par un mouvement de va et vient en eaux bicar-

172. DE LA BECHE H. T. — *The Geological Observer*, London, 1851.

bonatées sursaturées, sous des climats chauds. Il faisait intervenir simultanément un phénomène d'évaporation, un appauvrissement du milieu en gaz carbonique provoqué par l'agitation des eaux et, comme conséquence, une précipitation du carbonate de calcium en solution.

Un peu plus tard (1888), SEELEY [173] reprenait cette conception en la généralisant. Pour lui, la grande majorité des sédiments oolithiques se forment par voie de précipitation chimique directe et probablement par évaporation de l'eau de mer en surface. La précipitation se serait faite sur des fragments de coquilles qui, en raison de leur poids, auraient fini par gagner le fond.

b. — Application aux oolithes des sources chaudes. — Cette hypothèse semble bien interpréter la formation actuelle des oolithes dans les sources chaudes. Dans certaines de ces sources, dont la température atteint parfois 90°, la vie n'est pas possible, ou du moins elle ne se manifeste pas — et, de ce fait, la question de la collaboration des organismes ne semble pas se poser. Par contre, ces eaux sont, certaines du moins, sursaturées de bicarbonates et leur sursaturation est fonction à la fois de leur température élevée et de la pression à laquelle elles sont soumises. Au griffon de la source, la température de l'eau s'abaissant et la pression atmosphérique étant plus faible que la pression supportée par ces eaux dans leur parcours souterrain, le bicarbonate en excès précipite sous forme de carbonate neutre autour de petits corps étrangers en suspension dans l'eau et qui servent d'autant de petits points d'attraction. Plus loin, là où les eaux sont moins agitées, il se forme des croûtes de carbonate de calcium et des travertins. C'est dans les griffons des sources chaudes bi-carbonatées de Madagascar que M. LACROIX a observé la formation d'oolithes molles. Ces oolithes, aussi longtemps qu'elles sont en suspension dans les eaux agitées de la source, sont constituées par un carbonate de calcium, différant par ses propriétés optiques et chimiques de l'aragonite et de la calcite, et auquel il a donné le nom de Ctypéite [174]. A peine tombées sur le fond, ces oolithes de ctypéite se transformeraient en aragonite.

173. SEELEY H. G. — On the origin of oolitic texture in limestone rocks. — *Rep. Brit. Assoc. Adv. Sci.*, Bath Meeting, 1888, pp. 674, 675.

174. Ce nom a été créé par M. LACROIX pour désigner une forme particulière de carbonate de calcium qui constituait les pisolithes des sources thermales de Carlsbad en Bohême et de Hamman-Meskoutine (Constantine, Algérie).

Les pisolithes du gisement de Mahatsinjo (Madagascar) constituent des pseudomorphoses de ctypéite en calcite.

cf. LACROIX A. — Minéralogie de Madagascar (3 vol.), Paris, Challamel, 1922-1923 ; vol. I, p. 288 sq ; vol. II, p. 206 sq...

2. — *Formation de carbonate de calcium par double substitution.*

Mais, bien différentes sont les conditions de formation des oolithes marines et lacustres. Si les êtres vivants peuvent élaborer du carbonate de calcium aux dépens des sels de calcium de l'eau de mer, on ne s'étonnera pas, même dans les essais d'explication par pure précipitation chimique, de voir intervenir les organismes. Ceux-ci du reste n'interviendront qu'indirectement, comme agent constituant ou modifiant le milieu, en d'autres termes, comme agents permettant ou facilitant la précipitation du carbonate de calcium.

a. — LINCK, en 1903, reprenait la question des formations oolithiques du point de vue purement chimique ; à la suite d'une série d'expériences de laboratoire sur l'action du carbonate de sodium et du carbonate d'ammonium sur de l'eau de mer en milieu agité, sur l'action de ces mêmes carbonates sur une solution pure de sulfate de calcium etc..., il établissait les principaux faits suivants :

« 1) L'indice maximum de solubilité du carbonate de calcium dans l'eau de mer est environ 0,0191%.

2) Le carbonate de calcium qui peut se former aux dépens de l'eau de mer sursaturée en bicarbonate de calcium, précipite sous forme de calcite dans les climats tempérés ; sous les tropiques au contraire, suivant la saison de l'année et, par le fait même, la température de l'eau, il peut précipiter aussi sous la forme aragonite. Dans l'un et l'autre cas, il n'y a jamais formation de sphérolithes.

3) Le carbonate de calcium qui se forme par réaction du carbonate de sodium ou du carbonate d'ammonium sur le sulfate de calcium de l'eau de mer, prend sous les climats chauds et froids la forme aragonite ; la plupart du temps, il y a formation de sphérolithes.

4) De solutions de bicarbonate de calcium, pures de tout autre sel, le carbonate de calcium précipite sous forme de calcite dans les climats tempérés ; sous les climats tropicaux, suivant la saison de l'année et, par conséquent, la température de l'eau, il précipite à l'ordinaire sous la forme aragonite.

5) De solutions pures, chaudes (40° C.) ou froides (18° C.), de sulfate de calcium, le calcium est précipité par le carbonate de sodium et le carbonate d'ammonium sous la forme calcite.

6) De tout ceci, on peut déduire que la solubilité de l'aragonite est plus grande dans les solutions pures ou pauvres en sels étrangers, qu'elle est plus grande dans les solutions froides que dans les solutions chaudes. Il en va tout autrement de la calcite. Donc, à température égale, il se dissout plus de carbonate de calcium dans l'eau de mer qu'en

eau douce ; mais il peut se présenter des circonstances dans lesquelles aragonite et calcite soient également solubles et puissent se former simultanément.

7) Le carbonate de calcium et le sulfate de calcium sont moins solubles dans l'eau de mer que dans l'eau pure. » [175]

Pour lui, le carbonate de calcium qui entre dans la constitution des oolithes proviendrait de la décomposition du sulfate en solution dans l'eau de mer et il explique le phénomène par une double substitution entre les carbonates de sodium et d'ammonium et le sulfate de calcium du milieu marin. Ces carbonates qui comptent parmi les plus puissants agents de précipitation du carbonate de calcium résulteraient de la décomposition des tissus animaux et végétaux sous des climats chauds où la vie est plus luxuriante et la destruction des êtres rapide, cette dernière circonstance l'emportant du reste de beaucoup sur la première [176].

LINCK ajoutait que, dans le cas de précipitation du carbonate de calcium par réaction des carbonates de sodium et d'ammonium sur le sulfate de calcium de l'eau de mer, il se forme toujours des balles d'aragonite, à structure fibro-radiaire ou concentrique. Il en conclut

175. « 1. Die maximale Lösungsfähigkeit des Seewassers für den kohlensauren Kalk ist etwa 0,0191% Ca CO^3.

2. Das aus Calciumbicarbonat im Seewasser sich etwa bildende Calciumcarbonat wird, wenn die Löslichkeitsgrenze des letzteren überschritten ist, in gemässigten Klimaten stets als Kalkspath, in tropischen Klimaten dagegen je nach Jahreszeit bezw. Temperatur des Wassers auch als Aragonit abgeschieden. Sphärolithbildung findet dabei nicht statt.

3. Das aus dem Calciumsulfat des Seewassers mit Natrium- oder Ammoniumcarbonat niedergeschlagene Calciumcarbonat tritt in wärmeren und kühleren Klimaten stets in der Modification des Aragonits und stets zum grössten Teil in Form von Sphärolithen auf.

4. Aus sonst salzfreien Lösungen von Calciumbicarbonat schlägt sich das Calciumcarbonat in gemässigten Klimaten stets als Kalkspath, in den Tropen, je nach Jahreszeit bezw. Temperatur des Wassers, meist als Aragonit nieder.

5. Aus sonst salzfreien Calciumsulfatlösungen wird durch Natrium- bezw. Ammoniumcarbonat das Calcium in Wärme (40° C.) und Kälte (18° C.) als Kalkspath gefällt.

6. Dies beweist, dass die Löslichkeit des Aragonits grösser ist in salzarmen oder -freien Lösungen als in salzreichen, dass sie grösser ist in kälteren als in wärmeren Lösungen. Der Kalkspath verhält sich genau umgekehrt. Es löst infolgedessen bei gleicher Temperatur Seewasser mehr Calciumcarbonat auf als Süsswasser, aber es wird Umstände geben, unter denen Aragonit und Kalkspath im gleichen Masse löslich sind, sich also auch gleichzeitig bilden können.

7. Calciumcarbonat und Calciumsulfat sind im Seewasser leichter löslich als in reinem Wasser ». Cf. LINCK G. — Die Bildung der Oolithe und Rogensteine. — *Neues Jhb. für Min., Geol. und Pal.*, B. B. XVI, 1903, p. 506 et 507.

176. LINCK G. — *Neues Jhb. für Min., Geol. und Pal.*, B. B. XVI, 1903, p. 509.

que les oolithes fossiles, tout comme les récentes, auraient été primitivement en aragonite.

Pour LINCK enfin, les formations oolithiques ou similaires sont essentiellement inorganiques et, si les organismes interviennent, leur rôle est accidentel et purement accessoire :

« Aussi, je crois pouvoir affirmer avec assurance que *toutes les oolithes et les « rogenstein » sont des formations inorganiques.* Lorsque, dans les oolithes, on trouve des restes d'organismes, j'affirme que ces restes ont été inclus mécaniquement par l'aragonite en voie de cristallisation — ou que les sphérolithes ont servi à ces organismes (v. g. Algues) de points de fixation » [177].

Les expériences tentées par LINCK et les conclusions qu'il en tire présentent un réel intérêt ; je me bornerai toutefois à faire observer que les résultats obtenus par lui ont été acquis par voie expérimentale en laboratoire et que rien ne prouve absolument que les conditions réalisées dans la nature aient été les mêmes.

b. — VAUGHAN (1913) distingue avec plus de précision la précipitation de carbonate de calcium sous forme de boues calcaires, précipitation qui est selon lui d'ordre chimique — et la formation des oolithes, formation postérieure en date et qu'il attribue à l'action des bactéries :

« dans ces boues formées par précipitation chimique, les oolithes se développent ; souvent elles se forment alors que la précipitation a eu lieu » [178].

Ces oolithes formées dans les boues calcaires sont des « spherulites » dépourvus de structure concentrique ; mais, comme par ailleurs il se forme, dans le voisinage, des oolithes dont quelques-unes rappellent les sphérolithes qui prennent naissance dans les boues calcaires, VAUGHAN imagine deux stades dans la formation des oolithes, le stade sphérolithique étant le stade originel.

177. « So glaube ich mit Bestimmtheit sagen zu können, dass alle Oolithe und Rogensteine anorganogene Bildungen sind und dass, wo man organische Reste in den Körnern findet, diese von dem kristallisierenden Aragonit mechanisch eingeschlossen wurden, oder dass die Sphaerolithe den betreffenden Organismen (z. B. Algen) zeitweilig als Anheftungsstelle gedient haben ». Cf. LINCK G. — *Neues Jhb. für Min., Geol. und Pal.*, B. B. XVI, 1903, p. 510.

178. « in these chemically precipitated muds oolites develop, often forming after the muds are precipitated ».

c. — Pour DREW (1914), les bactéries dénitrifiantes [179] interviendraient pour modifier les conditions chimiques du milieu et permettre en conséquence la précipitation du carbonate de calcium. Somme toute, il ne fait que reprendre, pour le pousser plus avant, l'essai d'interprétation de LINCK.

d. — BROWN enfin (1914) reprend la question des oolithes dans son ensemble à l'occasion d'une étude sur quelques formations oolithiques, calcaires, dolomitiques, siliceuses et ferrugineuses d'Amérique. D'après lui, elles ne peuvent s'expliquer que par un phénomène chimique de précipitation :

« Je m'efforcerai de montrer que, *dans tous les cas de sédiments oolithiques d'origine américaine* qu'il m'a été permis d'étudier, la formation des oolithes peut être interprétée par ce dernier processus (*phénomène chimique*) ; personnellement, je crois que c'est le seul par lequel elles se soient formées » [180].

Je m'arrêterai à une seule de ces formations oolithiques, à celle des sables calcaires du Grand Lac Salé (Utah) et ce, en raison de l'étude qu'en avait faite ROTHPLETZ, en 1892, du point de vue de la théorie organique.

Trois faits principalement sont à retenir et qui, tous trois, militent en faveur de l'hypothèse de LINCK :

1) le carbonate de calcium est un des sels prédominants des eaux de rivières qui alimentent le Grand Lac Salé ;

2) les analyses des eaux du Grand Lac Salé n'ont jamais donné en ce qui concerne le radical CO^3, que des résultats négatifs ;

3) le point du Grand Lac Salé où se forment les oolithes est proche de l'embouchure de la rivière Jordan. Elle apporte annuellement au

179. A propos des Bactériacées, il convient de citer une note récente de M. L. DANGEARD aux *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* (Séance du 17 juin 1929, t. 188, p. 1616 à 1618) intitulée « Sur les Bactériacées des minerais de fer oolithiques ». L'auteur a constaté que certaines enveloppes oolithiques à surface brillante irisée se résolvaient en écailles extrêmement minces, appliquées les unes sur les autres et que ces pellicules étaient associées à des filaments très fins (1 μ à 1 μ, 5 de largeur). Il les rapprocherait « des voiles irisés divers qui se forment à la surface des eaux ferrugineuses tranquilles. Ces voiles, en s'épaississant, peuvent former des lamelles jaunes ou brunes cassantes, à structure granuleuse régulière et à surface brillante irisée », (p. 1617).

180. « I shall attempt to show that in all American occurrences of oolite which I have been able to study the formation of the oolites can be explained by the latter process, and that I think it is the only process by which they are formed ». (cf. BROWN T. C. — Origin of oolites and the oolitic texture in rocks. — *Bull. of the Geol. Soc. of America,* Vol. 25, déc. 1914, p. 752).

lac une proportion de calcium qui n'est pas négligeable et qu'elle transporte sous la forme de sulfate.

CLARKE donne en deux tableaux, les résultats de nombreuses analyses, les unes des eaux de rivières tributaires du Grand Lac Salé, les autres des eaux du Grand Lac Salé lui-même. Le rapprochement des deux tableaux est impressionnant et met admirablement en relief les faits exposés ci-dessus. Un peu plus loin, il interprète nettement la formation du sable oolithique comme le résultat d'un phénomène physico-chimique de précipitation :

« Toutes les eaux qui aboutissent au Grand Lac Salé (autant qu'on peut le déduire des analyses) contiennent des quantités notables de carbonates, tandis que les eaux du lac lui-même n'en contiennent pas. Ces sels ont donc, de toute évidence, été précipités ; la preuve en est dans les lits de sable oolithique, essentiellement constitué de carbonate de calcium, qui existent en maints endroits du lac le long du rivage. Il semble que les eaux du lac fussent trop riches en sels pour que le carbonate de calcium pût y rester en solution » [181].

Pour BROWN, l'association des algues avec les oolithes n'est pas purement accidentelle ; « mais c'est parce qu'elles meurent et que leurs tissus fournissent du carbonate de sodium. Elles participent par là bien plus à l'édification des oolithes qu'elles ne l'ont fait durant leur vie par n'importe quel procédé de sécrétion du calcaire » [182].

3. — *Passage de l'état colloïdal à l'état cristallin.*

Récemment enfin SCHADE (1909 et 1910) démontrait par voie expérimentale que, lorsqu'une substance passe de l'état colloïdal à l'état solide, elle donne naissance à ces corps concrétionnés et BUECHER (1918) cite un certain nombre de substances chimiques susceptibles de donner naissance à des sphérolithes. SCHADE constatait en outre ce fait que dans une substance qui passe de l'état colloïdal à l'état cristal-

181. « All of the waters tributary to Great Salt Lake, so far as they have been examined, contain notable quantities of carbonates, which are absent from the lake itself. These salts have evidently been precipitated from solution, and evidence of this process is found in beds of oolitic sand, composed mainly of calcium carbonate, which exist, at various points along the lake shore. The strong brine of the lake seems to be incapable of holding calcium carbonate in solution ». (cf. CLARKE F. W. — The data of geochemistry. — *U. S. Geol. Survey*, Bull. 491, 1911, pp. 144 et 145).

182. « but it is because they die and their organic tissue decays thus forming sodium carbonate, that they aid in building the oolites rather than by any organic process of secreting lime while yet alive ». (cf. BROWN T. C. — *Bull. Geol. Soc., Am.*, vol. 25, 1914, p. 757).

lin, les particules peuvent s'orienter différemment : si la substance est pure, les particules s'orientent suivant les rayons de la sphère, — si d'autres substances sont mélangées, les particules se disposent concentriquement. Cette supposition énoncée d'une manière générale par SCHADE a été reprise depuis par BUECHER (1918) et appliquée par lui à l'étude des sédiments oolithiques. Si attrayante que soit cette hypothèse, elle n'entraîne pas l'évidence ; d'autre part, elle ne résout pas complètement le problème et tout revient à se demander sous l'influence de quels agents physiques, chimiques et biologiques a pu être provoqué ce passage de l'état colloïdal à l'état solide.

B. — Théorie organique.

1. — *Végétaux du groupe des Algues.*

La théorie organique, au contraire, attribue la formation des oolithes à l'activité propre et directe des organismes.

a. — Suggérée par F. COHN (1862) au cours de son étude sur le « sprudelstein » de Carlsbad, elle ne fut reprise qu'en 1890 par WETHERED qui la remet en faveur. Sa conclusion implicite est que les oolithes résultent en majeure partie de l'activité d'Algues filamenteuses, dans l'espèce, *Girvanella,* dont du reste il décrit quatre espèces nouvelles.

b. — Deux ans plus tard, ROTHPLETZ dans une étude de sables calcaires oolithiques des bords du Grand Lac Salé et de la Mer Rouge signale la présence, dans l'épaisseur de la croûte des oolithes, d'Algues bleues gélatineuses, « qui sécrètent en abondance le carbonate de calcium » [183] et qu'il rapporte aux genres *Gloeocapsa* et *Gloeotheca.* A l'occasion d'une étude ultérieure sur les structures oolithiques du Lias Alpin, il conclut en généralisant : « pour le moins, la majorité des oolithes calcaires marines à structure régulière concentrique et radiaire sont d'origine végétale : le produit d'Algues inférieures, microscopiques, douées de la faculté de secréter du calcaire » [184].

Ce travail, tout intéressant qu'il soit, ne me paraît pas concluant. Je ne vois pas comment des Algues du type *Gloeocapsa* et *Gloeotheca*

183. « welche reichlich kohlensauren Kalk absondern ».

184. « zum mindesten die Mehrzahl der marinen Kalkoolithe, mit regelmässig zonalem und radialem Aufbau pflanzlicher Entstehung sind : das Produkt des Kalkausscheidungsvermögens sehr niedrig und mikroskopisch kleiner Algen ». (cf. ROTHPLETZ A. — Ueber die Bildung der Oolithe. — *Botan. Centralblatt,* vol. LI, 1892, p. 268).

peuvent rendre compte de la texture oolithique, et il me semble tout aussi prouvé qu'il s'agisse d'Algues ayant pris un point d'attache sur un fragment étranger ou sur une oolithe en voie de formation et qui seraient restées emprisonnées.

c. — Quelques années plus tard, WETHERED [185] reprend la question dans une note intitulée « The Formation of Oolithe » où il synthétise ses observations des dernières années. Sa conclusion est celle de 1890 ; elle me paraît d'une généralisation excessive. J'en prends à témoin la planche (pl. VII) que donne l'auteur. A l'évidence, les figures 1 à 8 représentent bien un amas de Girvanelles, entrelacées au centre, à course plus régulière à la périphérie ; je dois avouer toutefois que ni l'une ni l'autre de ces reproductions ne présente la texture typique des oolithes. Même si j'admettais sans réserve l'authenticité organique de la croûte dans la figure 8, la part des Algues dans la constitution des oolithes s'arrêterait là. Comment en effet faire le passage de ces balles à Girvanelles aux véritables oolithes à structure fibro-radiée et concentrique? Le point c de la figure 2 ne représente pas la section de tubules de Girvanelles ; ces sections sont toujours plus nettes. Il est vrai que l'auteur fait appel, dans les cas difficiles, à une oblitération possible, qui ne saurait être considérée comme une preuve. Bref, il me paraît que cette planche, loin d'être une preuve en faveur de la théorie organique, l'infirme plutôt et montre au contraire que la part active et directe des organismes dans ces formations est rare. Personnellement, hormis un cas exceptionnel et que je décrirai plus loin, je n'ai jamais rencontré dans les sédiments oolithiques du Calcaire carbonifère boulonnais les balles à Girvanelles qu'à l'état d'individus isolés et rares. Je crois qu'il en est ainsi des calcaires oolithiques étudiés par WETHERED et que les figures 1 et 8 représentent des balles à Girvanelles déposées au sein d'un calcaire oolithique.

d. — D'autres auteurs militent encore en faveur de la théorie organique ; citons seulement KALKOWSKY (1901) et VAN TUYL (1916). Ce dernier décrit sous le nom de « The Prairie du Chien Oolite » une oolithe siliceuse de l'Ordovicien inférieur de l'Iowa. Comme l'oolithe qu'il étudie a subi deux transformations successives : une dolomitisation complète de la matrice et, suivant les places, une dolomitisation complète ou partielle des oolithes, — puis ultérieurement, une silicification des parties restées calcaires, — sans doute, une certaine oblitération doit être envisagée. Les balles oolithiques, ajoute l'auteur, « quand

185. WETHERED E. B. — The formation of oolite. — *Quart. Journ. Geol. Soc.*, London, 1895, t. LI, pp. 196 à 209, pl. VII.

elles sont en bon état de conservation, montrent, outre la structure concentrique et radiaire, des fibres menues, sinueuses, enchevêtrées, en tout semblables aux tubes qui caractérisent le genre *Girvanella* [186]. Il m'est difficile de rejeter absolument l'interprétation de l'auteur, n'ayant pas le moyen de la contrôler ; je me bornerai néanmoins à faire observer que la planche microphotographique qui accompagne la note est peu convaincante : sur les 5 microphotographies, 2 seulement (fig. 3 et 4) montrent un très court boyau d'ailleurs peu net, les figures 2 et 5 ne montrent rien du tout.

e. — L'exemple le plus frappant à coup sûr de l'intervention des organismes est celui qui a été mis en valeur par M. J. DE LAPPARENT au Congrès géologique international de 1922 (XIII[e] Session, Bruxelles). Comme j'ai pu m'en rendre compte par moi-même par l'étude des échantillons conservés au laboratoire, il s'agit bien d'un facies oolithique. Ces calcaires oolithiques proviennent du Muschelkalk de Lorraine et du Luxembourg ; ils sont dolomitisés. La structure oolithique de la roche se révèle aisément à l'œil nu ; en lame mince, la texture n'est conservée que grâce à des « tubulures vermiformes qui encroûtées de minéraux silicatés durs n'ont naturellement pas été dolomitisées [186*bis*]. Ces tubulures à course irrégulière et sinueuse soulignent de traînées granuleuses, concentriques mais discontinues, la croûte oolithique périmée par le phénomène de dolomitisation. Comme il ressort de l'exposé même de l'auteur, ces organismes n'ont pu, par le fait de leur développement, construire les oolithes, — mais, s'étant fixés sur les oolithes en voie de formation et s'étant développés sur elles, ils ont parfaitement pu intensifier la précipitation du carbonate de calcium.

2. — *Animaux appartenant au groupe des Foraminifères.*

Jusqu'à présent, presque toutes les sections circulaires, boyaux et vermiculures rencontrées dans les oolithes avaient été attribuées à des Algues inférieures. GAUB le premier (que je sache) signalait dans le Jurassique de Souabe la présence de Foraminifères polythalames enveloppants qu'il rapportait au genre *Ophthalmidium* et pour lesquels il

186. « when well preserved show, in addition to the concentric and radial structure, minute, sinuous, enwrapping fibers very similar to the tubules which characterise the *Girvanella* type of calcareous algae ». (cf. VAN TUYL F. M. — A contribution to the oolite problem. — *Journ. of. Geol.*, t. XXIV, 1916, p. 795.

186*bis*. DE LAPPARENT J. — De quelques manières d'être des calcaires oolithiques. — *Congrès géolog. internat., C. R. XIII[e] Session, Belgique* 1922, 3[e] fascic., 1926, p. 1305.

créait l'espèce *O. oolithicum* [187]. Ce fait est resté un fait isolé jusqu'à la publication de la note de M. L. DANGEARD «sur les Foraminifères enveloppants des oolithes et des pisolithes ». L'auteur a rencontré dans de grosses concrétions ferrugineuses à structure concentrique du Lias supérieur de Waves (Ardèche) et sur les pisolithes du Bajocien de Bayeux des tubes contournés, vermiformes qu'il rapporte à des Foraminifères voisins de *Hyperammina* et de *Ammodiscus*. D'autres tubes « courbes, non cloisonnés, renflés en chambres »... de section « aplatie ou concave vers le centre de l'oolithe et renflés de l'autre côté »... « à première loge globuleuse de 0 mm. 05 de diamètre » [188] et qu'il a retrouvés dans maints gisements d'oolithes ferrugineuses de différents étages, rappelleraient d'après lui l'*Ophthalmidium* décrit par GAUB.

Cette fréquence à elle seule est un fait de grand intérêt ; mais la manière d'être des tubulures ne paraît pas devoir modifier beaucoup nos connaissances sur le rôle négatif joué par les organismes dans l'élaboration proprement dite de la texture oolithique.

Conclusions.

Les sédiments oolithiques qu'il m'a été permis d'examiner d'une part, — la revue des ouvrages qui traitent de ce facies d'autre part, — tout me paraît favoriser plutôt les tenants de la théorie inorganique, quelle que soit par ailleurs l'explication que l'on retienne. Rien du reste ne force à admettre qu'il n'y ait qu'un processus possible, ni que tous les sédiments oolithiques se soient formés dans les mêmes conditions.

Dans de rares cas, la présence d'organismes au sein des oolithes est indiscutable (M. J. DE LAPPARENT, M. DANGEARD). Il y a lieu de se demander à leur sujet si l'organisme (Algue ou Foraminifère) n'aurait pas contribué, par sa seule présence, à l'édification de l'oolithe en favorisant ou intensifiant le dépôt de carbonate de calcium granuleux. Ce n'est pas impossible, c'est même probable ; — mais, même dans cette hypothèse, l'organisme à lui seul rendrait difficilement raison de la texture fibro-radiaire et concentrique qui caractérise les oolithes, à moins qu'on ne l'interprète comme secondaire dans la forme où elle nous apparaît aujourd'hui, et qu'on n'attribue cette texture à une évolution postérieure au dépôt, ce qui n'est guère vraisemblable.

187. GAUB F. — Die jurassischen Oolithe der Schwäbischen Alb. — *Neues Jhb. für Min., Geol. und Pal.*, 1908, II, p. 91 et 93, pl. VII et VIII.

188. DANGEARD L. — Sur les Foraminifères... — *C. R. Acad. Sc.*, t. 189, n° 1 (1er juillet 1929), p. 58 et 59.

CHAPITRE IV.

DU ROLE JOUÉ PAR LES ORGANISMES DANS LA CONSTITUTION DES OOLITHES. CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Au cours de mes recherches dans les carrières du Boulonnais, j'ai pu mettre la main sur un calcaire oolithique de facies très particulier et dans la constitution duquel les organismes entrent pour une part importante, je pourrais presque dire exclusive.

Il s'agit d'une oolithe à structure entrecroisée, à éléments de diverses tailles nageant au sein d'une matrice qui, suivant les places, est de calcite en mosaïque ou de calcaire granuleux. De ces éléments, les plus grands, de texture oolithique nette, sont caractérisés par la présence de vermiculures du type *Girvanella* qui occupent tout ou partie de leur masse ; d'autres, de taille plus petite et sans texture nette, paraissent des fragments roulés de calcaire granuleux à Ostracodes.

Ces Crustacés, extrêmement abondants, se présentent surtout à l'état d'esquilles (cf. Pl. XXIV, fig. 116 et 117); quelques individus entiers toutefois, du type « en amande » (cf. Pl. XXIV, fig 116), interviennent dans la constitution des noyaux qui sont formés aussi de fragments de Gastéropodes, de radioles d'Oursins et de calcaire granuleux.

I. — PRESENCE DES GIRVANELLES.

Les grands éléments se présentent sous une variété de texture qui mérite d'être décrite :

A. — **Balles entièrement formées de Girvanelles.**

Certaines balles sont entièrement ou presque entièrement constituées par de petits boyaux vermiformes entrelacés (cf. Pl. XXIV, fig. 116, en bas). J'y ai observé tous les aspects que peuvent présenter en coupe des tubes ondulés et sinueux, entrelacés et pelotonnés sur eux-mêmes ; à savoir : des sections circulaires ou subcirculaires — de petits boyaux, droits, ondulés ou recourbés en fer à cheval — des boyaux plus longs présentant des bifurcations très nettes. Ces différentes formes se rencontrent souvent dans un même individu, les boyaux longs et bifurqués étant de toutes les sections les moins fréquentes, ce qui se comprend aisément d'un organisme à course irrégulière. Mais les vermiculures ne sont pas partout aussi serrées et il est des zones où la texture est simplement granuleuse avec de rares boyaux et d'autres qui en sont totalement dépourvues.

B. — **Balles à noyau oolithique avec revêtement de Girvanelles.**

D'autres balles ont leur centre occupé par une oolithe typique à texture fibro-radiaire et concentrique (cf. Pl. XXIV, fig. 116, 117 et 118) ; sur cette oolithe s'est développée une croûte épaisse formée soit d'un entrelacs de petites vermiculures et de microtubulures serrées les unes contre les autres, soit d'un calcaire granuleux plus ou moins homogène au sein duquel s'observent parfois quelques sections longitudinales ou obliques de tubes. La croûte organique qui recouvre l'oolithe peut présenter l'un ou l'autre aspect et même les deux successivement dans son épaisseur, la zone granuleuse plus ou moins homogène étant d'ordinaire la plus externe.

La texture fibro-radiaire et concentrique de l'oolithe est parfois bien conservée ; parfois aussi, elle est plus ou moins remplacée par des plages granuleuses sombres (cf. Pl. XXIV, fig. 117, en haut à droite), par des taches circulaires claires cerclées de noir et par de petits boyaux plus ou moins sinueux (cf. Pl. XXIV, fig. 116 et 117).

La croûte qui entoure l'oolithe, même lorsqu'elle est granuleuse et homogène, laisse toujours transparaître en certains points des taches, les unes circulaires, les autres allongées, qui tranchent en plus clair sur le fond granuleux noir. Les boyaux sont, dans certains cas, très nets et on en voit qui courent parallèlement à la surface de l'oolithe et d'autres qui ont tracé leur parcours en direction radiale.

II. — DIVERSES CONCEPTIONS TOUCHANT LE ROLE DES GIRVANELLES.

Le nombre des noyaux visibles est assez élevé pour que je puisse en conclure à un sédiment nettement oolithique : les balles qui montrent le noyau oolithique seraient intéressées par la lame mince suivant un plan diamétral, les autres suivant un plan plus ou moins tangentiel.

Bien que le facies oolithique que je viens de décrire diffère à la fois — et des oolithes calcaires étudiées et décrites par WETHERED — et des minerais de fer oolithiques primaires décrits par M. CAYEUX, un rapprochement me paraît néanmoins intéressant en ce qui concerne le rôle de ces organismes tubulaires (que je rapporterais volontiers au type Girvanelle) dans leurs rapports avec les balles oolithiques.

Deux conceptions sont ici en présence, l'une interprétant les Girvanelles comme ayant une part active dans l'édification de l'enveloppe corticale des oolithes, qui résulterait de l'enroulement de l'organisme tubulaire autour d'un corps étranger servant de noyau (WETHERED) — l'autre, mise en valeur par M. CAYEUX, suivant laquelle les Girvanelles, loin de construire les oolithes, les détruiraient.

A. — Les Girvanelles, organismes constructeurs des balles oolithiques.

Sur l'interprétation de WETHERED, je n'ai que peu de chose à dire, une réfutation judicieuse et complète en ayant été donnée par M. CAYEUX [189], dans son premier volume sur les minerais de fer oolithiques de France. Je me bornerai à faire remarquer que seuls les textures figurées sous les numéros 1 et 8 de la planche VII [190] sont tout à fait probantes et identiques à celles que j'ai décrites ci-dessus, et que, de toute évidence, « (ces textures) résultent de la croissance d'organismes inférieurs, en tubes, étroitement apparentés à *Girvanella* » [191]. Les aspects fournis par les figures 5, 6 et 7 peuvent aussi être attribués aux Girvanelles. Toutes ces formes cependant sont rares dans les divers

189. CAYEUX L. — Les minerais de fer oolithiques de France. Fasc. 1: Minerais de fer primaires. — Paris, Imprimerie Nationale, 1909, pp. 260 et 261.

190. WETHERED E. B. — The formation of oolite. — *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1895, pl. VII.

191. « they have been formed by the growth of low tubulated forms of life closely allied to *Girvanella* » (cf. WETHERED. — *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1895, p. 201).

calcaires oolithiques que j'ai pu observer, elles sont même exceptionnelles ; hormis le cas décrit ci-dessus, elles sont exceptionnelles dans les formations oolithiques du Calcaire carbonifère du Boulonnais où dans une lame mince on n'en observe guère que 2 ou 3 sections qu'il faut interpréter comme des fragments de colonie de Girvanelles usés et roulés par frottement.

L'auteur, dans un souci excessif de généralisation, explique par les organismes non seulement la texture concentrique des oolithes mais encore leur texture radiaire. D'après lui « les raies claires, de calcite, sont en réalité des tubes qui se sont développés perpendiculairement au noyau » [192]. Cette explication n'est pas très vraisemblable ; plausible dans certains cas (fig. 5, 6 et 7 de la planche VII), elle est inadmissible en général. *Girvanella* n'est guère caractérisé par une telle régularité d'allure ; par ailleurs, ses sections sont ordinairement plus nettes. Enfin l'interprétation que WETHERED donne des « dark striae » (raies sombres) n'est guère plus déterminante [193].

L'hypothèse de WETHERED ne peut donc s'appliquer qu'à des cas très particuliers et ne peut rendre compte de la texture radiaire et concentrique très régulière que l'on est accoutumé d'observer dans les balles oolithiques, texture que j'ai décrite en détail dans le chapitre précédent.

B. — Les Girvanelles, organismes destructeurs.

D'après M. CAYEUX au contraire, les balles oolithiques ne seraient en rien redevables de leur texture concentrique aux *Girvanella* qui, comme le conclut l'auteur de l'étude des oolithes composées et de l'existence d'oolithes reliées entre elles par des tubes de *Girvanella*, « ne se sont pas fixés dans les oolithes au moment où ces concrétions prenaient naissance au sein d'eaux agitées, mais après leur mise en place dans le sédiment... » [194]. Pour lui, non seulement la texture concentrique des oolithes ferrugineuses, vu « l'extrême finesse et la régularité des zones concentriques d'une part, la grosseur, le calibre éminemment variable et le dessin si irrégulier des tubes d'autre part » [195],

192. « the light striae are calcitic, and are really tubules which have grown at right angles to the nucleus » (cf. WETHERED. — *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1895, p. 204).

193. WETHERED. — *Quart. Journ. Geol. Soc.*, 1895, p. 205.

194. CAYEUX L. — Les minerais de fer oolithiques de France. Fascic. I : Minerais de fer primaires. — Paris, Imprim. Nation., 1909, p. 253.

195. CAYEUX L. — Les Algues calcaires du groupe des *Girvanella* et la formation des oolithes. — *C. R. Ac. sc.*, t. 150, 7 févr. 1910, p. 361.

est totalement indépendante des *Girvanella* — mais, de toute évidence, ces organismes détruisent les balles oolithiques pour en prendre la place, en un mot, ce sont des organismes perforants, parasites, destructeurs. A l'appui de son affirmation, M. CAYEUX apporte un certain nombre de faits d'observation ; l'interruption, la destruction par les *Girvanella* de la texture oolithique, destruction d'autant plus poussée que les *Girvanella* sont plus multipliés. Et il ajoute même : « Les noyaux oolithiques envahis par les *Girvanella* ne laissent jamais reconnaître la plus petite trace de structure zonaire, et cependant les Algues y sont représentées à tous les états de fréquence » [196].

Je ne mettrai pas en doute la thèse et les preuves du savant auteur, n'ayant pas sous la main les matériaux qui me permettraient d'en parler avec quelque compétence ; je me bornerai à décrire le facies oolithique à Girvanelles du Boulonnais et à exposer brièvement l'interprétation que me suggèrent les faits d'observation.

III. — LES GIRVANELLES DANS LEURS RAPPORTS AVEC LA TEXTURE OOLITHIQUE.

A. — Principaux aspects réalisés.

1. — *Balles exclusivement formées de vermiculures.*

a. — Sections, à texture uniforme, exclusivement formées de vermiculures. — Les vermiculures ne montrent aucune orientation définie mais se coupent et se recoupent en tous sens ; très nettement délimitées dans le corps de l'élément, elles perdent la netteté de leur contour au voisinage de la surface (zone granuleuse à vermiculures floues). L'organisme témoigne d'une course très irrégulière (cf. Pl. XXIV, fig. 116, en bas au milieu).

b. — Sections exclusivement formées de vermiculures mais présentant une tache centrale plus claire.

2. — *Balles munies d'un nucleus et d'une croûte de Girvanelles.*

Les seules balles vraiment intéressantes sont celles dont les sections sont diamétrales et montrent l'élément au complet avec son nucleus et son revêtement de Girvanelles.

196. CAYEUX L. — loc. cit., p. 361, 2°.

Ce nucleus, de nature très variée, peut être constitué par un fragment roulé de calcaire granuleux, un débris organique quelconque (radiole de Paléchinide, fragment de Tabulé, etc...) ou une balle oolithique complète à texture fibro-radiaire et concentrique caractéristique (cf. Pl. XXIV, fig. 116, 117 et 118). Autour de ce nucleus central, les Girvanelles forment une croûte épaisse qui, en règle générale, se décompose en deux zones de texture différente : la zone interne, à vermiculures nettes — la zone superficielle, granuleuse, à texture plus ou moins indécise.

Plusieurs cas sont à envisager:

a. — Sections à nucleus intact formé d'une balle oolithique typique à texture fibro-radiaire; ce nucleus est recouvert d'une croûte granuleuse homogène ou agrémentée de taches claires assez imprécises (sections de Girvanelles). Le nucleus entier est de conservation parfaite ; la balle oolithique qui le constitue montre la texture caractéristique des croûtes oolithiques ; seul, son noyau, assez irrégulier d'allure et de contour, montre de petits anneaux circulaires à parois sombres qui font penser à des sections de Girvanelles.

b. — Exceptionnels sont les éléments figurés qui présentent cet état de conservation ; la balle oolithique qui en occupe le centre est d'ordinaire plus ou moins périmée et sa texture remplacée en tout ou en partie par des vermiculures ou des plages de calcaire granuleux (cf. Pl. XXIV, fig. 116 au milieu dans le haut — et fig. 117 en haut à droite). Ces plages sont souvent fort irrégulières de contour ; quelques-unes d'entre elles n'ont rien laissé subsister de la texture oolithique, dans d'autres s'observent des lignes granuleuses plus foncées qui se succèdent à intervalles plus ou moins réguliers et qui sont les vestiges de la texture concentrique périmée de la croûte oolithique.

La croûte organique qui recouvre la balle oolithique centrale varie elle aussi d'aspect suivant les cas. Elle est parfois exclusivement constituée par des vermiculures entassées les unes sur les autres ; dans d'autres cas, entièrement formée de calcaire granuleux, elle laisse soupçonner par places une zonation très vague. L'une d'elles, outre quelques taches plus claires (sections de Girvanelles) montre un long boyau organique qui, après l'avoir traversée radialement, traverse la balle oolithique qui en occupe le centre.

3. — *Balles entièrement formées de calcaire granuleux :*

a. — les unes sont d'un calcaire granuleux parfaitement homogène,

b. — les autres montrent des vestiges plus ou moins vagues d'une zonation concentrique qui est par ailleurs discontinue. De ces dernières, il en est qui sont totalement dépourvues de sections de Girvanelles ; d'autres au contraire en présentent.

B. — **Interprétation.**

1. — L'interprétation des sections diamétrales ne soulève guère de difficulté ; il n'en est pas de même des balles exclusivement formées de vermiculures et de celles qui sont entièrement granuleuses.

a. — J'ai parlé plus haut de la division fréquente de la croûte organique en deux zones, l'une interne bourrée de vermiculures, l'autre superficielle de texture surtout granuleuse, ne montrant que quelques sections transversales ou longitudinales de Girvanelles. Il est clair que si les *sections à texture uniforme exclusivement formée de vermiculures* peuvent être interprétées comme des coupes intéressant cette zone interne du manchon organique, elles peuvent tout aussi bien être regardées comme de simples gravelles, à savoir des fragments de colonies de Girvanelles repris par les eaux et roulés. Toutefois, en me basant sur la tache plus claire que présentent certaines sections exclusivement formées elles aussi de vermiculures, je penche plus volontiers pour la première hypothèse. Cette tache plus claire, en effet, fait penser au voisinage du nucleus vu par transparence ; les sections qui la présentent doivent donc s'interpréter comme orientées tangentiellement au nucleus c'est-à-dire à la portion oolithique de l'élément.

b. — Un problème analogue se pose pour les *sections entièrement granuleuses* qui peuvent s'interpréter ou bien comme des coupes intéressant les portions granuleuses des éléments, que ces portions soient superficielles (sections plus réduites) ou au contraire plus ou moins voisines du centre — ou bien, comme des portions de sédiment granuleux repris et roulés par les eaux, certaines sections montrant en plein calcaire granuleux des esquilles d'Ostracodes.

Cette seconde interprétation est la plus vraisemblable ; la zone externe de la croûte organique étant, à l'ordinaire, d'épaisseur très réduite, il n'y a guère de probabilité pour que les lames minces aient pu l'intéresser un aussi grand nombre de fois. Il faudrait en dire autant des zones granuleuses internes qui ne sont qu'exceptionnellement développées et épaisses.

2. — Ici, de toute évidence, les Girvanelles se sont développées sur

un sédiment en voie de formation, mais dont les éléments avaient achevé leur évolution ; la preuve en est dans les microtubulures et les vermiculures qui n'eussent pas été conservées dans l'hypothèse contraire.

Cette constatation force en outre à admettre ou bien que les balles oolithiques se sont constituées à l'état de calcite — ou bien que l'évolution du carbonate de calcium en calcite a suivi de très près la formation des balles d'aragonite.

3. — Quel est enfin le rôle de ces organismes ? Construisent-ils les balles oolithiques, les détruisent-ils, ou leur demandent-ils simplement un support, un point d'attache ?

Une source de difficulté dans l'interprétation du rôle des Girvanelles vient de ce que l'organisme en lui-même est insuffisamment connu. A-t-on affaire à une algue filamenteuse et ramifiée ou à une colonie de ces végétaux comprenant plusieurs individus ou même plusieurs espèces, comme tendrait à le faire croire la variété de diamètre des sections rencontrées parfois dans un même élément ? Il est clair que dans l'hypothèse du support ou du point d'attache, l'attaque inévitable de l'oolithe par l'organisme qui se fixe sera beaucoup plus accusée dans le cas d'une colonie que dans le cas d'un individu et pourra, dans certaines circonstances, simuler une destruction.

L'algue s'est fixée à la surface de balles évoluées. Ses filaments tubulaires ont rongé la surface externe des oolithes et pénétré plus ou moins profondément dans l'intérieur, périmant la texture concentrique et radiaire au sein de laquelle on observe les sections de ses tubes, et la remplaçant souvent par du calcaire granuleux. La texture de l'oolithe est donc nécessairement altérée, comme sont altérés les fragments de coquilles sur lesquels des algues se sont développées et qui n'ont conservé dans leur épaisseur que des traînées sinueuses de granules calcaires, vestiges du parcours des filaments de l'algue.

Une fois fixée (et cette fixation a pu être intense s'il s'agit d'un amas d'algues en tube simple, dont chaque filament a pris son point d'insertion sur l'oolithe et creusé son chemin au travers de la croûte), l'algue s'est développée à la surface de l'oolithe en l'accroissant par le feutrage accumulé de ses tubes. A en juger par la régularité de la forme extérieure des éléments et par la continuité des zones caractérisées par les sections de Girvanelles, un tel accroissement a dû se faire en suspension. Comme cela se voit dans les aquariums, l'algue, par le jeu même de ses fonctions vitales, a pu maintenir l'oolithe en suspension dans l'eau (dégagement d'oxygène mis en liberté dans le phénomène de l'assimilation chlorophyllienne).

S'il paraît difficile de parler d'une construction proprement dite des balles oolithiques par les Girvanelles, du moins ces organismes n'auraient-ils pas contribué, pour une large part, à en accroître les dimensions par le développement de leur thalle d'abord, puis, en provoquant, en intensifiant la précipitation du carbonate de calcium.

Tout compte fait, à prendre les faits d'observation dans leur ensemble, il semble que, dans le cas présent, les Girvanelles aient plutôt contribué à accroître les oolithes ; la destruction de la texture oolithique, inévitable même dans l'hypothèse d'une simple fixation, est localisée au point d'insertion du filament de l'algue.

CONCLUSIONS GENERALES TOUCHANT LES CALCAIRES OOLITHIQUES.

Que conclure ?

1. — Il me semble que la formation des oolithes est un *phénomène essentiellement physique et chimique* — et que les organismes n'interviennent qu'indirectement en tant qu'agents susceptibles de modifier le milieu et de rompre son équilibre chimique.

Dans le cas des *sources chaudes*, de certaines en particulier à température élevée, les organismes ne peuvent être mis en jeu et la précipitation du carbonate de calcium à partir d'eaux bicarbonatées s'explique comme conséquence d'une sursaturation due au refroidissement, à l'évaporation, au dégagement de l'excès de gaz carbonique en solution dans l'eau, ce dernier étant provoqué par l'agitation de l'eau et une diminution de pression.

Quant aux *oolithes formées en milieu marin*, si l'évaporation d'un milieu lagunaire concurremment à l'agitation des eaux peut donner naissance au phénomène chimique de précipitation, il n'en est pas moins vrai que les organismes doivent jouer une part dans sa formation — soit en appauvrissant le milieu en gaz carbonique et en provoquant la décomposition des bicarbonates dissous (algues vertes ou autres) — soit en fournissant, par la putréfaction de leurs tissus, le carbonate d'ammonium qui, par réaction sur le sulfate de calcium de l'eau de mer, provoquera la formation de carbonate de calcium.

Il est clair que ces actions et d'autres encore sont possibles et qu'il serait illusoire de vouloir assigner à cette formation une cause unique. C'est un phénomène chimique de précipitation qui rélève, suivant les cas, de causes physiques ou biologiques diverses.

2. — Les organismes sont restés étrangers à la formation des balles oolithiques et à l'édification de la texture oolithique en tant que telle ; dans aucun cas en effet, je n'ai vu les organismes exercer une influence directe sur l'élaboration d'une texture oolithique typique.

3. — Cette texture, qu'elle soit radiée, concentrique, ou radiée et concentrique à la fois, ne me paraît pas originelle mais acquise ; la variété même de ces textures en serait une preuve, et un témoin des conditions diverses de milieu et de temps dans lesquelles cette texture acquise s'est formée.

Ces balles, molles et informes à l'origine, se sont régularisées par les mouvements même auxquels elles ont été soumises, et ont sédimenté plus ou moins lentement suivant les cas.

4. — Pour certains calcaires oolithiques du moins, il semble établi que l'évolution des éléments figurés était terminée quand ces éléments se sont déposés. Ce serait le cas du calcaire oolithique à Girvanelles dont il a été question dans ce chapitre et celui des calcaires oolithiques à structure entrecroisée, dont l'évolution a dû s'achever pendant le transport.

Cette évolution se serait faite d'une venue (oolithes à texture radiée) ou par phases successives (oolithes à texture radiée et concentrique), chaque zone concentrique correspondant à un arrêt du phénomène à moins qu'on ne l'interprète comme résultant d'une évolution secondaire.

CHAPITRE V.

LES CALCAIRES MAGNÉSIENS.

Les sédiments magnésiens constituent un des facies communs et caractéristiques du Calcaire carbonifère.

En 1913, M. A. CARPENTIER, dans sa « Contribution à l'Etude du Carbonifère du Nord de la France », signalait la présence de dolomie [197] dans les bandes carbonifères d'Etroeungt (Etroeungt), d'Avesnelles (carrière du Camp de César), d'Avesnes, dans celle de Ferrière-la-Petite, Limont-Fontaine, Bachant, Berlaimont.... Cette formation, dont le développement maximum n'excède pas 50 m. d'épaisseur, s'étend dans l'Avesnois, sur le Tournaisien supérieur et le Viséen inférieur à *Daviesiella Llangollensis* et *Productus sublaevis.*

Dans la région centrale du bassin de Namur, et sur sa bordure septentrionale, ce facies atteint une puissance considérable (170 m. environ) et s'étend, d'une venue, sur le Tournaisien, le Viséen inférieur et une partie du Viséen moyen [198]. La dolomitisation qui, dans plusieurs coupes, atteint même « des bancs situés très haut dans la série à *Productus Cora* et dans la zone des calcaires à phtanites et s'élève ainsi, dans cette partie du bassin de Namur jusqu'au voisinage de la *Grande Brèche* » [199], diminue beaucoup d'envergure sur la bordure méridionale du bassin et dans ses régions orientale et occidentale, de même que dans le bassin de Dinant.

Dans la Province du sud-ouest de l'Angleterre comme en Belgique, la dolomitisation « s'étend sur de grandes épaisseurs dans le nord, et se réduit graduellement à mesure qu'on descend vers le sud et qu'on

197. CARPENTIER A. — Contribution... — *Mém. Soc. géol. Nord,* t. VII, II, 1913, pp. 19, 29 (fig. 11) sq., 50 sq., 69 sq., 86.

198. DELEPINE G. — Recherches sur le Calcaire carbonifère de la Belgique. — *Mém. et Trav. Fac. Cathol. Lille,* Fasc. VIII, 1911, p. 125 et 126, pl. VI.

199. DELEPINE G. — Ibid., p. 128.

s'écarte ainsi des rivages formés par les massifs anciens (pays de Galles, — Brabant et massif de Stavelot) » [200].

I. — LES DOLOMIES DU CALCAIRE CARBONIFERE DU BOULONNAIS.

Dans le Boulonnais, ce facies est représenté par deux masses d'inégale importance et d'âges divers:

La plus ancienne (Dolomie du Hure), d'une puissance d'une centaine de mètres, est située au nord de la faille de Ferques et repose directement sur le Famennien [201] à la bordure septentrionale du massif carbonifère. Cette masse dolomitique, bien que de beaucoup plus faible épaisseur dans le Boulonnais, est, d'après MM. DE DORLODOT et A. SALEE, « le correspondant de l'assise dolomitique si développée aux environs de Namur » [202] ; elle est, d'après eux, tournaisienne dans sa plus grande partie. Dans sa portion supérieure, MM. G. DELEPINE et P. PRUVOST ont trouvé en 1919 des Brachiopodes (*Daviesiella Llangollensis*) des Cyathophyllides et des Clisiophyllides qui « caractérisent dans le nord de la France et en Belgique la base du Viséen, et pour préciser, la zone à *Productus sublaevis* » [203].

L'autre masse, d'âge viséen moyen, est constituée par une série de bancs, les « *Bancs dolomitiques à Lithostrotion Martini* », niveau-repère important du point de vue stratigraphique ; elle est subordonnée au marbre Lunel. Elle comprend un certain nombre de bancs, de facies grenu, plus ou moins dolomitisés et silicifiés (silex en cordons), qui s'observent à la partie inférieure (portion orientale) de la carrière Hénaux de la Vallée Heureuse et qui sont exploités comme castine à la carrière de Basse-Normandie. Les phénomènes de dolomitisation étant particulièrement palpables dans les bancs immédiatement sous-

200. DELEPINE G. — Recherches sur le Calcaire carbonifère de la Belgique. — *Mém. Fac. Cathol. Lille,* Fasc. VIII, 1911, p. 368.

201. DUTERTRE A. P. — L'inconnu du Hure. — *C. R. somm. Soc. géol. Fr.,* 1923, n° 11 (28 mai), pp. 109-110.

202. DE DORLODOT H. et SALEE A. — Sur le synchronisme du Calcaire carbonifère du Boulonnais avec celui de la Belgique et de l'Angleterre. — *C. R. Ac. Sc.,* 1911, t. 153, p. 556.

203. DELEPINE G. — Sur la position stratigraphique de la Dolomie de Hure. — *Ann. Soc. géol. Nord,* 1920, t. XLV, p. 144.

jacents aux calcaires blancs exploités comme marbre (marbre Lunel), ces bancs étant par ailleurs d'un accès plus facile, je me bornerai, pour la description détaillée, à la portion de ce complexe dolomitique qui affleure au centre de la carrière Hénaux de la Vallée Heureuse sous le marbre Lunel (cf. Pl. I, fig. 1).

II. — LES BANCS DOLOMITIQUES A LITHOSTROTION MARTINI.

A. — Episodes dolomitiques.

L'ensemble, de teinte foncée noire ou grise, tranche sur la teinte claire, d'un gris blanc, des bancs qui lui sont superposés.

Les portions plus foncées sont constituées par une roche brune tirant tantôt sur le jaune, tantôt sur le noir et formée d'un agrégat de rhomboèdres de dolomite jaune brun, à arêtes vives, juxtaposés (dolomie grenue). Les organismes, rares, n'y sont représentés que par quelques sections de *Syringopora*. Partant de cette dolomie grenue située au niveau du sol et qui s'ennoie progressivement vers le sud-ouest, on passe à une zone grise. L'appauvrissement en dolomite est brusque ; la dolomie grenue a fait place à un calcaire grenu fin à Tabulés, *Syringopora* et nombreux Foraminifères des types *Endothyra*, *Trochammina* et *Archaediscus*, simplement piqué de-ci de-là de rhomboèdres de carbonate double. A la partie supérieure du deuxième banc, le phénomène s'accentue pour donner d'abord un calcaire dolomitique brun à nombreux Polypiers silicifiés et, plus haut, une dolomie grenue d'un brun noir, à *Syringopora*, Polypiers, et gros Brachiopodes.

Cet ensemble constitue ce que j'appellerais volontiers un cycle ou un épisode dolomitique : la dolomitisation se présente ici comme un phénomène continu avec ses périodes paroxysmales de dolomitisation intense et brusque (*dolomies grenues*), espacées et séparées par des périodes de dolomitisation décroissante (*calcaires dolomitiques* et *calcaires piqués de points de dolomite*).

L'épisode dolomitique que je viens de décrire s'étend sur le premier banc (celui qui affleure au centre de la carrière Hénaux sous le marbre Lunel), le deuxième et la partie inférieure du troisième. Un nouvel épisode, moins étendu, englobe une partie du troisième banc et la base du quatrième ; il est caractérisé par une diminution notable du type «dolomie grenue» et est temporairement interrompu à la partie supérieure du troisième banc par une oolithe à structure entrecroisée et non dolomitique. Dès le milieu du quatrième banc et au cinquième, plus d'épisode dolomitique complet : plus de dolomies grenues, raré-

faction des calcaires dolomitiques et prédominance des sédiments piqués de rhomboèdres de dolomite isolés. L'appauvrissement en dolomite est définitif malgré quelques oscillations (calcaires dolomitiques) de peu de durée. Le phénomène diminue d'intensité, s'espace, se raréfie et finit, à la partie supérieure du cinquième banc, par un niveau dolomitique (dolomitisation irrégulière sous forme de poches) qui supporte la masse du Lunel qui n'est dolomitique que très exceptionnellement et localement.

B. — Les facies dolomitiques.

De la description que je viens d'esquisser des épisodes dolomitiques à *Lithostrotion Martini*, il me paraît utile de retenir 3 types ou facies de sédiments calcaires dolomitiques à savoir: les dolomies grenues, les calcaires dolomitiques et les calcaires ponctués de cristaux de dolomite. Bien que les roches soient le résultat d'un seul et même phénomène qui se serait produit avec des intensités variables, il y a utilité, du point de vue descriptif, à les définir pour pouvoir au besoin préciser les facies qui entrent dans la composition d'un complexe dolomitique.

1. — *Dolomies grenues.*

La dolomie grenue est un *agrégat de cristaux de carbonate double* de calcium et de magnésium *juxtaposés, et affectant la forme d'une mosaïque.* Ces individus cristallins s'étant gênés mutuellement au cours de leur développement n'ont pas de forme bien définie ; au contact, leurs formes s'épousent, ils se moulent ou s'engrènent les uns dans les autres.

Cette mosaïque, dans certains cas, paraît homogène ; dans d'autres, des cristaux s'observent à l'état isolé ou groupés en petit nombre qui tranchent par leur teinte claire et leur aspect hyalin sur la dolomite opaque et brune du fond. Ce sont des individus de calcite, postérieurs aux individus de dolomite dont ils moulent les contours. Une substance organique noire souligne le contour de certains cristaux, rejetée par eux au moment de leur formation.

La *nature originelle* des dolomies grenues est toujours délicate à établir en raison même du morcellement et de la recristallisation des organismes qu'elles renfermaient et qui pourraient, à défaut d'autres documents, guider dans certains cas. Les dolomies grenues dont j'ai étudié ci-dessus la succession sont en général peu fossilifères ; cette

pauvreté en restes organiques n'est pas tant fonction de l'intensité du phénomène de dolomitisation que du facies calcaire originel qui devait être un calcaire à grain fin à petits débris organiques et micro-organismes (banc n° 1), un calcaire grumeleux à grain fin (banc n° 2 base), un calcaire grenu à sections nombreuses de Polypiers et *Syringopora* et à gros Brachiopodes (banc n° 3, moitié inférieure).

Les *organismes* de petite taille et les petits fragments organiques sont en règle générale périmés et plus ou moins méconnaissables. Ainsi en est-il des fragments de Tabulés et des petits fragments d'Echinodermes déjà malaisés à distinguer les uns des autres, dans certains cas, en dehors même des phénomènes de dolomitisation. Toutefois, un examen attentif des cristaux de dolomite permettra parfois de discerner dans quelques-uns d'entre eux une zone foncée et une zone plus claire vestiges du canal de l'article et de sa muraille. Les Foraminifères du type *Endothyra* et les Granulosphères se reconnaissent plus facilement ; les premiers à leur allure singulière et caractéristique, les seconds, en raison de leur petite taille, sont souvent conservés en entier dans le cristal de dolomite qui a pris naissance en partie aux dépens de leur calcaire granuleux. Leur schéma, leur contour ont été conservés grâce aux matières organiques qui sont restées en place au cours des phénomènes de métasomatose. Quelque réduites que soient les Granulosphères, il n'est pas rare de voir leur squelette partagé par deux ou même trois cristaux de dolomite. Quant aux restes fossiles de plus grande taille, leur micro-texture a disparu mais ils sont conservés dans leur forme extérieure comme en témoigne la portion supérieure de la Dolomie du Hure à *Daviesiella Llangollensis* et à *Euomphalus* et les niveaux dolomitiques à *Lithostrotion Martini.*

Toutes les dolomies grenues n'ont pas la même teinte ; il en est de jaunâtres, de brunâtres et d'autres enfin d'un brun qui tire sur le noir.

2. — *Calcaires dolomitiques.*

Par *calcaires dolomitiques,* j'entends toute la série de sédiments calcaires plus ou moins dolomitisés compris entre les dolomies grenues d'une part et les calcaires francs seulement piqués de quelques cristaux épars. Suivant les places et le degré de dolomitisation, les rhomboèdres de dolomite sont contigus, moulés les uns sur les autres et en forme de grains irréguliers — ou bien isolés et montrant des sections rhomboédriques ou triangulaires (cf. Pl. XXIV, fig. 119, portion supérieure). Alors que, dans le cas de dolomies grenues, il était ordinairement difficile de préciser le facies originel du calcaire dolomitisé, dans le cas des calcaires dolomitiques cette tâche est plus aisée, la dolomitisation

ayant la plupart du temps laissé subsister les organismes et des portions importantes du calcaire originel. C'est ainsi que, dans la série détaillée ci-dessus, j'ai pu identifier, parmi les calcaires dolomitiques, des calcaires à grain fin à nombreux fragments de Tabulés mêlés d'articles d'Echinodermes, d'esquilles de Brachiopodes et de Foraminifères à test granuleux (2e banc, partie supérieure), des calcaires coquilliers (3e banc, partie moyenne), des calcaires oolithiques à structure entrecroisée (4e banc, base), des calcaires grumeleux qui, dans le quatrième banc, succèdent aux calcaires oolithiques.

L'étude du *comportement des organismes* et des débris d'organismes est assez délicate ; il est en effet souvent difficile en lame mince de préciser si le minéral constituant du squelette organique est le carbonate de calcium ou le carbonate double de calcium et de magnésium. Si, dans les sédiments que j'ai étudiés, en règle générale, les cristaux de dolomite se présentent en rhomboèdres idiomorphes, saupoudrés d'une poussière granuleuse brune, si par ailleurs les cristaux de calcite, plus hyalins et plus purs, montrent entre nicols croisés des teintes de biréfringence de mêmes nuances rouge et verte mais beaucoup plus vives, il peut de-ci de-là subsister un doute sur l'identification de certains cristaux et de certains fragments organiques.

Quoi qu'il en soit, les rhomboèdres de dolomite me paraissent se former de préférence aux dépens du carbonate de calcium granuleux qui forme toujours plus ou moins le fond de la roche [204] ; la dolomitisation affecte surtout la matrice et les microorganismes qui y sont inclus. J'ai constaté par ailleurs que les Tabulés, les Brachiopodes et les Echinodermes résistent à la dolomitisation.

Si les Tabulés ne sont pas dolomitisés en masse dans des milieux par ailleurs assez riches en magnésie, vu le peu de stabilité de l'aragonite, c'est que la recristallisation de ce minéral en la forme calcite a dû être hâtive et antérieure à la mise en place des rhomboèdres de dolomite.

Les Brachiopodes et les Echinodermes sont, eux aussi, assez réfractaires et ont, très généralement, conservé intacte leur microtexture. Les rhomboèdres, qui se sont formés dans le calcaire granuleux, achèvent parfois leur développement aux dépens de la calcite des esquilles ; la surface de ces esquilles apparaît comme mordue, rongée

204. Ce fait est illustré d'une façon toute particulière dans le niveau oolithique à structure entrecroisée qui occupe la base du quatrième banc. Les cristaux de dolomite se forment aux dépens des grumeaux granuleux qui chargent la matrice ; ils se sont ensuite accrus en rongeant plus ou moins les balles oolithiques et en en périmant la texture dont ils ont dans certains cas gardé quelques vestiges (cf. Pl. XXIV, fig. 119 et 120).

par les cristaux de dolomite. Parfois aussi, un ou deux rhomboèdres isolés se présentent en plein corps de l'article ou de l'esquille, mais c'est plutôt rare.

Je noterai enfin pour terminer que, dans certains calcaires dolomitiques, à côté de plages à mosaïque de dolomite montrant des extinctions normales, il y a des plages à structure confuse et à mosaïque indécise où les cristaux mal formés et irréguliers présentent entre nicols croisés une extinction onduleuse.

3. — *Calcaires ponctués de cristaux de dolomite.*

L'épisode oolithique qui fait le passage du troisième au quatrième banc n'est pas dolomitique dans sa portion basale (partie supérieure du troisième banc), mais, à mesure qu'on s'élève, on voit d'abord paraître quelques rhomboèdres isolés (calcaires ponctués de dolomite) pour passer à la fin de l'épisode oolithique à un calcaire dolomitique nettement caractérisé.

Dans la portion moyenne peu dolomitique, les rhomboèdres ont pris naissance dans les interstices restés libres entre les oolithes c'est-à-dire en pleine matrice ; mais, la matrice étant très réduite, ils se sont développés aux dépens des balles oolithiques qu'ils ont plus ou moins fortement entamées. Ces cristaux sont assez mal formés et présentent des contours irréguliers et arrondis qui contrastent violemment avec les rhomboèdres à angles aigus qui se forment dans certains calcaires aux dépens des granules qui chargent le fond (cf. Pl. XXIV, fig. 119 — comparer la moitié inférieure de la photographie avec sa portion supérieure).

Dans la portion supérieure de cet épisode, portion plus dolomitique et qui passe au calcaire dolomitique, les éléments figurés sont très espacés et les interstices qu'ils laissent entre eux sont comblés par des grumeaux granuleux. Les rhomboèdres qui ont pris naissance dans ces interstices se sont développés en mordant sur les balles oolithiques. Ces balles ne sont rongées que dans leur partie tout à fait superficielle ; elles ont souvent gardé leurs contours originels sous forme d'un liseré régulièrement orienté de granules qui maculent les cristaux de dolomite. Ces cristaux, contigus et formant mosaïque, sont plus ou moins irréguliers de contour ; les uns présentent des arêtes vives, les autres à contour déchiqueté ou arrondi affectent plutôt la forme de grains (cf. Pl. XXIV, fig 119 et 120).

III. — CONCLUSIONS.

A. — La dolomitisation se présente comme *un phénomène d'une certaine continuité* avec des périodes de paroxysme et de détente ; les enrichissements et les appauvrissements sont subits.

B. — Ce phénomène *ne paraît pas en relation avec des facies déterminés, ni, semble-t-il, avec des faunes particulières ;* encore que les Polypiers, *Syringopora* et Tabulés soient largement représentés dans les bancs dolomitiques à *Lithostrotion Martini.*

J'ai fait remarquer, à l'occasion de la description des facies dolomitiques (dolomies grenues et calcaires dolomitiques), que les calcaires dolomitisés étaient originellement des calcaires à grain fin, des calcaires grenus et coquilliers, et des calcaires grumeleux. Ce sont, dans l'ensemble, des facies d'eaux calmes ; et je n'ai rencontré, dans les bancs dolomitiques à *Lithostrotion Martini* situés au centre de la carrière Hénaux sous le marbre Lunel, qu'un épisode oolithique et de courte durée.

M. G. DELEPINE, dans son étude d'ensemble sur le Calcaire carbonifère du bassin de Namur, était arrivé aux mêmes conclusions. Voici ce qu'il écrivait, au sujet des dolomies, dans son chapitre sur la répartition générale des facies :

« Dans les régions où le facies dolomitique se développe, les calcaires le plus souvent atteints sont, en première ligne, les calcaires noirs compacts ou sub-grenus, qu'ils renferment ou non des phtanites, puis en seconde ligne les calcaires à encrines ; les calcaires oolithiques au contraire ne sont que rarement dolomitisés. Il y a deux exemples remarquables de ce dernier fait: les lentilles de calcaire oolithique du niveau à *Prod. Cora* à l'est et à l'ouest de Namèche, comprises entre des séries de couches qui sont dolomitisées ; l'absence de dolomitisation dans les niveaux où apparaît l'oolithe à *Prod. sublaevis* (exception faite pour la partie centrale de la bordure nord du bassin, entre Marche-les-Dames et Namèche par exemple) » [205].

C. — Il est actuellement admis que la dolomitisation de sédiments calcaires du type de ceux que je viens de décrire est *un phénomène*

205. DELEPINE G. — Recherches sur le Calcaire carbonifère de la Belgique. — 1911, p. 272.

contemporain du dépôt.

« On voit très bien dans certains cas que ce phénomène de la dolomitisation des calcaires fut rapide, s'étant produit dans le cours même de la sédimentation de la couche formée en quelques points de calcaire dolomitique homogène et, en d'autres points, de débris remaniés de celui-ci... D'ailleurs la dolomitisation des calcaires nous apparaît comme un phénomène quasi-contemporain de l'époque du dépôt ou qui lui est peu postérieur » [206].

Mais, la dolomitisation est-elle antérieure ou postérieure à la consolidation des sédiments calcaires?

Le problème, somme toute, est double suivant que l'on considère les éléments figurés des sédiments calcaires (balles oolithiques, grumeaux, organismes), ou la matrice qui les moule.

En ce qui concerne les éléments figurés, les faits d'observation sont concluants et la réponse facile : la dolomitisation est postérieure au dépôt sur le fond marin des organismes et des fragments organiques ; la dolomite s'est formée après le calcaire granuleux dont elle a pris la place et gardé des vestiges sous forme de granules qui maculent ses rhomboèdres. Elle s'est mise en place alors que les balles oolithiques avaient achevé leur évolution ; leur aspect extérieur en effet, et leur microtexture ne diffèrent en rien de l'aspect et de la microtexture qu'elles présentent dans les calcaires oolithiques non dolomitisés.

L'observation est moins déterminante en ce qui concerne la matrice et il est malaisé d'établir d'une manière péremptoire si la mise en place du carbonate double est contemporaine de la cristallisation de la matrice, donc de la consolidation du sédiment — ou bien si elle lui est postérieure. Des deux hypothèses, la première est la plus vraisemblable pour ne pas dire la seule.

Les rhomboèdres ont pris naissance dans les interstices entre les éléments figurés, c'est-à-dire dans la matrice, puis ils se sont développés en mordant de proche en proche sur les éléments figurés venus à leur contact. La texture, en règle générale, est périmée ; elle subsiste parfois sous forme de liserés noirs de calcaire granuleux.

Il s'agit là d'une véritable *digestion* du calcaire par le carbonate double, digestion qui laisse ou ne laisse pas de résidus (granules de carbonate de calcium).

206. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — Masson, 1923, pp. 373 et 375.

D. — La question de *l'origine de la dolomie* déborde le cadre de ce travail et l'exiguité de mes observations, réduites au seul Calcaire carbonifère du Boulonnais. Ce que je dirai ici n'aura donc qu'une portée restreinte.

1. — Multiples sont les *essais d'explication* qui ont été tentés et qui sont susceptibles de s'appliquer les uns dans un cas, les autres dans un autre [207]. Aucune explication pleinement satisfaisante n'a encore été proposée.

On est généralement d'accord aujourd'hui pour rejeter la précipitation directe de la dolomie et pour exclure les organismes au moins comme causes principales et suffisantes de sa formation ; on admet généralement un phénomène de substitution ou de métasomatose que les savants interprètent du reste de manières différentes.

a. — La dolomitisation résulterait d'après CLEMENT [208], d'une double substitution en milieu saturé de chlorure sodique entre le sulfate de magnésium et le carbonate de calcium aragonite, substitution qui aboutirait à la formation de sulfate de calcium et d'un carbonate de calcium et de magnésium qui n'est du reste pas le carbonate double mais un simple mélange des deux carbonates. CLEMENT faisait appel à des conditions de température, de pression et à des concentrations anormales que SKEATS [209] estimait pouvoir être suppléées par la fonction temps et durée. Pour ce dernier, la dolomitisation n'a lieu qu'au niveau de la surface (eaux agitées) et à mesure que se forme le calcaire.

b. — Les variations de teneur en carbonate de magnésium constatées lors des sondages effectués dans l'atoll de Funafuti en 1897 étaient attribuées par JUDD à la proportion variable des Algues calcaires. Selon lui, la dolomitisation se serait faite en surface et ce n'est que postérieurement que se serait produit l'affaissement.

c. — De ses recherches expérimentales, F. W. PFAFF [210] concluait au contraire à sa formation sous une forte pression, donc à une grande profondeur pouvant aller de 180 mètres à 1800 mètres, les conditions optima oscillant entre des pressions de 40 et 60 atmosphères corres-

207. STEIDTMANN EDW. — The evolution of limestone and dolomite. — *Journ. of. Geol.*, 1911, pp. 323 à 345 et pp. 392 à 428.

208. CLEMENT C. — *Bull. Soc. belge de Géol.*, vol. IX, Mém. 3, 1895.

209. SKEATS E. W. — On the chemical and mineralogical evidence as to the origin of the Dolomites of Southern Tyrol. — *Quart. Journ. geol. Soc.*, 1905, p. 136.

210. PFAFF F. W. — Ueber Dolomit und seine Entstehung. — *N. Jhb. für Min.*, B. B. XXIII, 1907, p. 577.

pondant à des profondeurs de 400 à 600 mètres. D'après cet auteur, c'est à la profondeur considérable et à la forte concentration de l'eau qu'il faut attribuer la pauvreté des dolomies en organismes ; les intercalations de calcaires dans les dolomies s'expliqueraient par des mouvements de surrection et d'affaissement. Mais, cette explication, comme l'a fait remarquer PHILIPPI, est contraire à de nombreux faits établis tant en géologie qu'en océanographie.

2. — Aucune des causes mises en avant par ces différents auteurs et d'autres ne donne une explication satisfaisante et fondée de la dolomitisation dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais.

a. — Les facies calcaires qui ont subi la dolomitisation ne sont en rien différents de ceux qui ne sont pas dolomitisés ; aucun d'eux n'a enregistré des conditions spéciales d'agitation des eaux dans lesquelles ils se sont déposés. Au contraire, les sédiments calcaires qui, dans le Boulonnais, sont dolomitisés (à savoir calcaires à grain fin, calcaires grenus et calcaires grumeleux) trahissent des conditions calmes de dépôt. Quant au calcaire oolithique, j'ai fait remarquer qu'il constituait un épisode de courte durée ; par ailleurs, s'il est assez dolomitique à ses débuts pour constituer un calcaire dolomitique, la dolomitisation est insignifiante dans le haut (calcaire ponctué de quelques cristaux de dolomite).

b. — L'hypothèse qui tendrait à expliquer la dolomitisation par l'accumulation d'organismes se heurte aux observations enregistrées par M. G. DELEPINE touchant le Calcaire carbonifère de la Belgique.

Les organismes, à eux seuls, ne suffisent pas à donner raison du phénomène de la dolomitisation. Dans les calcaires dolomitisés, ils ne sont pas différents ni sensiblement plus nombreux que dans ceux qui ne le sont pas. Quant aux Algues, si elles peuvent expliquer les enrichissements locaux de l'atoll de Funafuti, je n'en ai pas rencontré dans les facies dolomitiques à *Lithostrotion Martini*. Je ne nie pas la possibilité absolue du fait ; j'ai en effet observé dans les rubanés superposés au « Banc de 11 pieds » (carrière du Haut-Banc) des rubans organiques parfaitement conservés (*Corydopodium laminare*) dont les lames étaient plus ou moins abondamment incrustées de rhomboèdres de dolomite qui se sont, selon moi, formés sur place aux dépens des substances organiques de l'algue en voie de décomposition.

c. — Les explications[211, 212] par la réaction de l'eau de mer sur « les carbonates alcalins et surtout ammoniacaux provenant de la putréfaction des matières organiques » [211] ne sont pas non plus pleine-

211. DE DORLODOT H. — Description succincte des assises du Calcaire carbonifère de la Belgique et de leurs principaux facies lithologiques. — *B. S. B. G.*, XXIII, 1909, p. 178.

212. DE LAPPARENT J. — Leçons de Pétrographie. — Masson, 1923, p. 375.

ment satisfaisantes. Combien de sédiments en effet plus riches en organismes et de même facies qui ne sont pas dolomitisés!

3. — Le déclenchement du phénomène me paraît lié à un *impondérable* qui échappe à l'investigation. Il semble que ce soit aussi l'opinion de STEIDTMANN :

«La prépondérance des calcaires purs et des dolomies... montre que la marge est très étroite entre les conditions qui favorisent la formation des dolomies et celles qui président au dépôt des calcaires, et, qu'en conséquence, au voisinage de ce point critique, de légers changements dans les conditions chimiques peuvent modifier complètement la nature du dépôt » [213].

Cet impondérable ne serait-il pas à chercher dans une série d'affaissements du fond marin qui correspondraient aux dolomies grenues et qui, sans nécessiter une profondeur considérable qui ne cadrerait pas avec les faits d'observation, auraient déterminé la formation de vastes cuvettes où l'eau de mer aurait séjourné, privée de toute circulation et de tout échange, et constituant une saumure dense. C'est au fond de ces cuvettes, en plein milieu organique en décomposition, en pleine stagnation, que se seraient faites les réactions chimiques entre les sels de l'eau de mer et les carbonates engendrés par la putréfaction des tissus organiques animaux et végétaux.

Ces grandes cuvettes se seraient ensuite peu à peu comblées, diminuant d'abord, supprimant ensuite la concentration des sels en solution dans l'eau, favorisant peut-être la circulation de l'eau, le lessivage du fond marin et la dilution des matières organiques en putréfaction (calcaires dolomitiques dans le premier cas, calcaires simplement ponctués de dolomite ou même calcaires francs dans le second). Un nouvel affaissement..... etc.

Les organismes, en tant que tels, ne sont pas négligeables ; ils ne peuvent être à eux seuls cause de la dolomitisation, mais leurs restes à l'état de décomposition plus ou moins avancée jouent un rôle important. L'impondérable serait, selon moi, dans ces mouvements verticaux subis par le fond marin et qui auraient déterminé la formation de ces cuvettes ; ces mouvements seraient condition sine qua non du déclenchement des causes multiples (fonds stagnants, concentration des sels,

213. «The dominance of pure limestones and dolomites... shows that the margin between dolomite and limestone-bearing conditions is a narrow one, and hence near the critical stage slight changes in chemical conditions may completely change the nature of deposition». cf. STEIDTMANN EDW. — Origin of dolomite as disclosed by stains and other methods. — *Bull. of the geol. Soc. of Amer.*, 1917, vol. 28, p. 450.

putréfaction lente etc.....) qui provoquent et favorisent le dépôt de carbonate double.

Je suis arrivé à ces conclusions par mes observations et mes réflexions personnelles ; je me rassure en constatant que GOSSELET, dans son travail sur l'Ardenne, arrive aux mêmes conclusions bien qu'un peu moins explicitement [214].

214. GOSSELET J. — L'Ardenne. — p. 610.

CHAPITRE VI.

LA SILICE DANS LES CALCAIRES.

La silice est un élément accessoire fréquent des sédiments calcaires ; elle se rencontre sous forme de quartz et de calcédonite épigénisant plus ou moins complètement à certains niveaux le fond de la roche et les fragments organiques.

I. — QUARTZ DE NEOFORMATION.

Outre le *quartz détritique* en fragments clastiques et sur lequel je ne m'arrêterai pas parce qu'il est d'observation banale, le quartz se présente encore en *cristaux idiomorphes de néoformation.* C'est le prisme bipyramidé typique p e $^{1/2}$ e ^{2} se présentant du reste sous des aspects divers : la portion prismatique est souvent très développée et le cristal prend la forme d'une longue baguette taillée en pointe à ses deux extrémités ; parfois, au contraire, le cristal prend la forme d'un grain par suite du raccourcissement excessif du prisme. Ces petits quartz de néoformation présentent en lumière naturelle un aspect dépoli caractéristique dû à la persistance de granules de carbonate de calcium qui y sont restés emprisonnés.

Je les ai rencontrés en abondance dans certains facies du Calcaire carbonifère belge, entre autres dans un calcaire à Crinoïdes, genre « Petit Granite » du Viséen supérieur de Namèche où ils sont très nombreux mais d'assez petite taille — dans un petit banc compact de tex-

ture grumeleuse et bourré de petits Céphalopodes qui correspond comme niveau en Belgique (Viséen supérieur de Namèche) à celui qui, dans le Boulonnais, couronne le Lunel N° 1 ou marbre Rubané Notre-Dame ; les prismes bi-pyramidés y sont de plus grande taille — dans un calcaire compact de texture granuleuse et d'âge viséen de Marche-les-Dames. J'ai l'impression que ces petits quartz de néoformation sont particulièrement fréquents dans les facies vaseux (sédiments calcaires de texture granuleuse ou grumeleuse).

II. — SILICIFICATION DES FRAGMENTS ORGANIQUES.

La silice sous forme de quartz ou de calcédonite épigénise fréquemment les fragments organiques. Il y a peu de chose à dire des entroques, des Tabulés et des *Syringopora* où la silice se présente généralement sous forme de quartz en mosaïque. Plus complexe est la manière d'être de la silice dans les sections de Polypiers et d'Ostracodes et dans les esquilles de Brachiopodes.

A. — Polypiers.

Il s'agit d'une section de Polypier entièrement silicifié dans un calcaire dolomitique de Tabulés.

En lumière naturelle, le squelette du Polypier ressort en grisé sur un fond blanc transparent ; l'aspect grisé du squelette est dû à la persistance du carbonate de calcium granuleux en éléments de tailles diverses mais toujours petits et fréquemment orientés perpendiculairement à la surface de la cloison.

Les cloisons qui sont formées par des cristaux de quartz juxtaposés du type mosaïque sont hérissées de petits prismes qui ont pris naissance à leur surface et leur donnent un aspect denticulé. Les loges sont d'ordinaire remplies de quartz en assez large mosaïque ; en certains points toutefois la silice a cristallisé sous une forme fibreuse qui affecte l'allure de sphérolithes entiers ou hémisphériques ou celle de rubans allongés à zones concentriques régulières alternativement noires et claires. Ces sphérolithes et ces rubans ont pris naissance sur la paroi en s'étendant vers l'intérieur des loges.

B. — Brachiopodes.

L'esquille est plus ou moins complètement remplacée soit par des cristaux de quartz du type mosaïque, soit par une large plage de silice

qui s'éclaire et s'éteint d'une venue. En règle générale, la texture d'ensemble a été préservée ; la silice s'est insinuée entre les lamelles, rongeant plus ou moins celles-ci sur les deux faces. Le tracé d'ensemble est conservé sous forme de traînées punctiformes ou linéaires de carbonate de calcium.

Parfois mais plus rarement j'ai observé aussi de la silice fibreuse.

C. — Ostracodes.

Contrairement à ce qui se passe dans les phénomènes de dolomitisation, la silice ne périme pas d'ordinaire la texture organique ; les Ostracodes montrent, après silicification, les mêmes manières d'être que ceux qui sont restés calcaires. Dans le cas des formes en « amande », il est difficile de préciser si on a affaire à des prismes très fins à direction radiaire ou s'il s'agit de silice fibreuse.

D'autres individus, de texture plus complexe, montrent de l'extérieur vers l'intérieur trois zones nettement distinctes :

a. — La plus extérieure d'un gris bleuté et d'allure prismatique représente le test de l'organisme.

b. — Cette zone externe est prolongée vers l'intérieur de la coquille par une zone analogue de texture fibreuse ou prismatique qui s'est orientée sur elle.

c. — Le centre est rempli de quartz en mosaïque.

Deux rhomboèdres bien formés de dolomite interrompent cette texture ; la silice les a respectés comme du reste nombre de rhomboèdres qui chargeaient le fond de la roche. Des rhomboèdres qui ont échappé à l'épigénie siliceuse, les uns ont gardé leur forme cristalline parfaitement nette, d'autres plus ou moins rongés par la silice ont pris l'aspect de grains à contours irréguliers.

Les Ostracodes fournissent un exemple de ce que M. COUVREUR appelle une orientation « conforme » ; la silice s'est substituée suivant les lignes directrices du test, comme si elle avait été influencée par la texture organique préexistante. L'auteur, parlant des Lamellibranches les plus simples à structure prismatique tels que les *Inoceramus*, les *Perna*, déclare qu'il n'a pas observé « de substitution massive au cours de laquelle un cristal de quartz ou un système calcédonieux remplacerait une unité organique de forme bien précise, tel qu'un prisme hexagonal » [215]. J'ai signalé plus haut qu'en ce qui concerne les Ostracodes

215. COUVREUR MAURICE. — Note sur l'épigénie siliceuse conforme et non conforme des tests de Lamellibranches. — *C. R. Ac. Sc.*, t. 189, N° 28 (2 Décembre 1929), p. 999.

envisagés la preuve était malaisée à faire en raison des difficultés d'observation. L'auteur affirme enfin une résistance des tests à la pénétration par la silice ; les Brachiopodes me paraissent fournir une preuve nouvelle à cette affirmation. J'ai montré en effet, que, quand le phénomène est observable, la silice pénètre entre les lamelles obliques qui constituent le test, les ronge plus ou moins sur leurs deux faces externe et interne, laissant subsister ces lamelles sous forme de vestiges calcaires punctiformes ou linéaires.

III. — SILICE EN ROGNONS OU SILEX.

La silice épigénise aussi parfois le ciment de la roche et se présente dans le Calcaire carbonifère du Boulonnais sous forme de silex.

Les silex, sur front de carrière, paraissent isolés les uns des autres comme si la silice s'était concentrée localement. Il m'a été permis d'observer cependant dans la carrière des Belges (Elinghen) [215a] un de ces épisodes siliceux à la faveur d'un délit qui s'était produit à leur niveau. Le dépôt siliceux formait une trame, un réseau à rubans minces réunissant des amas plus importants de silice, ces derniers représentant les rognons. Ces rognons sont toujours très finement cristallisés et présentent en lumière polarisée une texture analogue à la texture granuleuse (petits quartz engrenés sans forme cristalline régulière). Les organismes y sont conservés, quant à leur schème d'ensemble au moins, par la subsistance des matières organiques qui les colorent en brun et les fait ressortir sur le fond siliceux, blanc et transparent en lumière naturelle. En lumière polarisée, ils se distinguent aussi fort aisément du fait qu'ils sont plus largement cristallisés ; les sphérolithes de calcédoine se forment de préférence à la limite des squelettes organiques (cloisons des Polypiers) et des vides, qui sont remplis de quartz en large mosaïque.

Rien dans le calcaire qui environne les silex ne permet d'assigner une cause bien définie à ces formations.

Ici, comme dans les cas de dolomitisation, tout se passe comme s'il s'agissait d'un phénomène de digestion du calcaire par la silice, digestion du reste plus ou moins accentuée et laissant subsister du carbonate de calcium granuleux.

215a. Cette carrière est celle qui porte le numéro 7 sur la carte du Boulonnais (cf. p. 4).

Appendice : Feldspath de néoformation.

Au cours de mes recherches sur le Calcaire carbonifère du Boulonnais et quelques facies correspondants du Carbonifère belge, j'ai observé dans des bancs rubanés oolithiques du Viséen supérieur de Namèche (niveau de la Grande Brèche) de petits cristaux de feldspath de néoformation.

Comme c'est généralement le cas pour les calcaires oolithiques à structure rubanée, ces bancs, même dans leurs portions franchement oolithiques, sont fortement chargés de grumeaux. Les épisodes à oolithes « moussues » alternent avec des épisodes exclusivement grumeleux. Les feldspaths qui se présentent sous forme de bâtonnets longs et fins ou courts et trapus, ont pris naissance dans le calcaire granuleux et les grumeaux qui chargent la matrice ou constituent le noyau des oolithes; j'en ai observé aussi, mais c'est exceptionnel, dans la croûte de revêtement des balles oolithiques.

La roche se montre, à l'attaque par l'acide chlorhydrique, très chargée de matières organiques qui surnagent le liquide sous la forme d'un abondant dépôt huileux noir. Le résidu insoluble met en évidence de la magnétite, de nombreuses paillettes de séricite et de petits cristaux de feldspath sodique (albite) qui s'éteignent dans g^1 à 20 degrés environ de la trace de p. Uniformément aplatis suivant g^1, ils sont beaucoup moins variés de forme que ceux décrits par M. JACQUES DE LAPPARENT [216] dans le Crétacé de la région d'Hendaye (Massif de Béhobie). L'auteur y a décrit et figuré dans le détail nombre de cristaux d'albite, aplatis les uns perpendiculairement à g^1, les autres parallèlement à cette face ; et, parmi ces derniers, de nombreux individus, simples, ou maclés Carlsbad et accolés suivant g^1, ou des formes plus complexes et formées en deux générations. Les cristaux que j'ai rencontrés dans les sédiments oolithiques de Namèche sont simples et s'éteignent d'un bloc quand on fait tourner la platine mobile du microscope ; ils ne montrent de macles que très exceptionnellement et sont souvent creux et réduits à la zone superficielle de l'individu cristallisé.

216. DE LAPPARENT J. — Etude lithologique des terrains crétacés de la région d'Hendaye. — *Mém. Carte géolog. France*, Paris, Imprimerie Nationale, 1918, pp. 58 à 63.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

I. — De l'étude des documents historiques et des travaux géologiques, il ne semble pas que l'exploitation marbrière dans le Boulonnais soit de date très ancienne. Les origines de cette exploitation ne remontent guère, selon moi, au delà de la fin du dix-huitième siècle.

II. — Les marbres aujourd'hui exploités dans le Boulonnais sont tous d'âge viséen (Viséen moyen et supérieur).

Ils accusent le rôle important joué à cette époque par les *Algues calcaires.*

A côté de formes énigmatiques (*Corydopodium,* cf. pp. 56 et 70) dont je ferais volontiers des Algues inférieures dépourvues de toute structure cellulaire, il importe de faire remarquer l'abondance des formes en tubes non cloisonnés et que, de ce chef, je rapporte au groupe des *Siphonées* (*Polymorphocodium* cf. p. 43, *Mitcheldeania* cf. pp. 87 et 97, *Stylocodium* cf. p. 103).

III. — Certains marbres sont constitués, exclusivement ou essentiellement, par ces Algues calcaires et peuvent être considérés comme de véritables « *bancs récifaux* » édifiés par ces organismes. Ce sont les marbres Henriette (Ch. III), Napoléon Tigré dit « Pattes d'Alouettes », Napoléon Gris (Ch. IV) et Lunel fleuri (Ch. VII, p. 96).

D'autres sont formés aux dépens de certains de ces organismes et constituent des calcaires rubanés de texture grumeleuse, interrompus de loin en loin par des lames de nature organique plus ou moins disloquées. Ce sont les marbres Caroline (Ch. V) et Lunel rubané Notre-Dame (Ch. VI).

IV. — Les marbres Napoléon Grand Mélange et Joinville, le marbre noir de Réty sont d'une nature très différente et représentent, le premier, un calcaire bréchique, les deux autres, des calcaires de facies grenu.

V. — A part *Archaediscus* dont le test est poreux et hyalin, les Foraminifères carbonifères ont un test non poreux et de texture

granuleuse. Il semble plus probable que ces granules de carbonate de calcium aient été empruntés par l'organisme au milieu marin et qu'il en ait consolidé sa fragile coquille. Les Foraminifères granuleux seraient donc des agglutinants.

VI. — Les Foraminifères granuleux sont surtout abondants dans les calcaires à grain fin. Ces sédiments sont riches en microorganismes et montrent, outre les Granulosphères (p. 132), nombre d'organismes de types divers. J'ai montré (p. 140) que certains d'entre eux se ramènent à une seule et même espèce se présentant dans des états différents de conservation ; je les ai rapportés à l'espèce *Cytosphaera cancellata*, synonyme de *Calcisphaera cancellata* Williamson.

VII. — Ce que j'ai dit de la microtexture des Céphalopodes laisse subsister un léger doute.

Il me semble plus probable qu'il faille exclure les Serpules. Par ailleurs, pour expliquer les différences de texture, on pourrait, et certaines sections le suggèrent, recourir à l'hypothèse de la coexistence de deux types de Céphalopodes, l'un enroulé, à coquille mince et aplatie, l'autre déroulé, à coquille épaisse et globuleuse.

La différence de texture signalée peut néanmoins s'interpréter par un phénomène de recristallisation. Cette recristallisation, du reste, n'est pas une hypothèse en l'air ; elle a atteint les cloisons qui ne subsistent plus, dans certaines coquilles, que sous la forme de minces lignes ombrées.

VIII. — Certains calcaires granuleux peuvent résulter d'un phénomène de recristallisation ; ils présentent alors un aspect dépoli qui est caractéristique.

Les petites mouches de calcaire granuleux, que l'on rencontre, en plus ou moins grande abondance, dans tous les sédiments calcaires, me paraissent être *le vestige de matières organiques* aujourd'hui disparues et qui furent jadis, sur le fond marin, *des lieux d'élection pour les échanges chimiques et, conséquemment, pour la précipitation du carbonate de calcium.*

IX. — Bien que les oolithes me paraissent s'être formées par voie de *précipitation chimique*, il semble difficile néanmoins d'exclure de leur formation toute participation organique.

Cette action des organismes serait indirecte ; ils auraient joué une part dans la formation des oolithes en appauvrissant

le milieu marin en gaz carbonique et en provoquant la décomposition des bicarbonates dissous — en fournissant, par la putréfaction de leurs tissus, le carbonate d'ammonium qui, réagissant sur le sulfate de calcium de l'eau de mer, aurait amené la formation du carbonate de calcium.

X. — La formation des sédiments magnésiens (dolomies et calcaires dolomitiques) n'est pas liée exclusivement à un facies déterminé ; elle n'a pas sa raison suffisante dans l'accumulation d'organismes magnésiens.

Le phénomène de dolomitisation me semble lié à un impondérable qui résulterait de l'affaissement du fond marin. Cet affaissement aurait déterminé *la formation de vastes cuvettes à eaux dormantes* où les organismes se seraient accumulés ; sous l'effet de la concentration croissante des sels en solution dans l'eau, ils auraient fini par périr et se seraient désintégrés lentement au sein d'eaux sursaturées.

Ces affaissements n'avaient pas nécessairement le caractère cataclysmal ; rien ne force à les considérer comme brusques et subits. Ce qui a été subit, c'est le déclenchement du phénomène de dolomitisation ; l'observation montre en effet que l'on passe sans transition d'un calcaire typique à une dolomie ou à un calcaire dolomitique. J'ai dit plus haut (p. 231) que les appauvrissements en carbonate double étaient, eux aussi, subits ; cela veut dire que la diminution de la teneur en dolomite est rapide au début de la période, quitte à se prolonger assez longtemps sous la forme de calcaires ponctués de rhomboèdres de carbonate double.

Les calcaires faiblement dolomitiques correspondraient au comblement des fosses qui aurait diminué, supprimé la concentration des sels par circulation de l'eau, lessivage du fond marin et dilution des matières organiques en voie de désintégration.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE SOMMAIRE :

1. 1780. Guettard et Monnet. — Atlas et description minéralogique de la France. — Paris, Didot aîné, 1780, in fol., pp. 26 à 44.

2. 1823. Garnier (F.). — Mémoire géologique sur les terrains du Bas-Boulonnais et particulièrement sur les calcaires compactes ou grenus qu'ils renferment. — Boulogne-sur-Mer, Hesse, 1823, 1 vol. in 4°, 39 pp., 1 carte.

3. 1828. Rozet (M.). — Description géognostique du bassin du Bas-Boulonnais. — Paris, Selligue, 1828, in-8°, 119 pp., 1 carte.

4. 1829. Bertrand. — Précis de l'histoire de Boulogne-sur-Mer et de ses environs. — 1829, vol. II (passim).

5. 1838. de Verneuil. — Note sur les terrains anciens du Bas-Boulonnais. — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1re Série, t. IX, 1838, pp. 388 à 396, pl. IX, fig. 14.

6. 1839. du Souich (A.). — Note sur la course faite par la Société dans le bassin d'Hardinghen et ses alentours. — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1re Série, t. 10, 1839, pp. 404 à 412, pl. IV, fig. 13.

7. 1840. Murchison. — Sur les roches dévoniennes, type particulier de l'Old Red Sandstone des géologues anglais, qui se trouvent dans le Boulonnais et les pays limitrophes. — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1re Série, t. XI, 1839-1840, pp. 229 à 256, pl. II.

8. 1844. Carpenter (W. B.). — On the microscopic structure of shells. — *Brit. Ass. Rep.*, London, 1844, pp. 1 à 24.

9. 1847. Carpenter (W. B.). — On the microscopic structure of shells. — *Brit. Ass. Rep.*, London, 1847, pp. 93 à 134, 20 pl.

10. 1852. Delanoue (J.). — Des terrains paléozoïques du Boulonnais et de leurs rapports avec ceux de la Belgique. — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 2e Série, t. IX, 1852, pp. 399 à 406, pl. II, fig. 6.

11. 1853. Godwin Austen (R. A. C.). — On the series of Upper paleozoic groups in the Boulonnais. — *Quart. Journ. geol. Soc.*, t. IX, 1853, pp. 231 à 245, pl. X.

12. 1860. Gosselet (J.). — Mémoire sur les terrains primaires de la Belgique, des environs d'Avesnes et du Boulonnais. — 1860.

13. 1866. Rigaux (E.). — Notice stratigraphique sur le Bas-Boulonnais. — *Bull. Soc. acad. Boulogne-sur-Mer,* t. I, 1866, pp. 95 à 123, 1 pl.

14. 1872. Hyatt (A.). — Fossil Cephalopods of the museum of comparative zoology. Embryology. — *Bull. of the Museum of Comp. Zool.,* Cambridge, vol. III, 1872, n° 5, pp. 59 à 111 (passim).

15. 1873. Gosselet et Bertaut. — Etude sur le terrain carbonifère du Boulonnais. — *Mém. Soc. Sc. Agr. et Arts de Lille,* 3e Série, vol. 11, 1873, (tir. à p., 27 p., 4 pl.).

16. 1873. Gosselet (J.). — Etudes relatives au bassin houiller du Nord de la France. — *Bull. Soc. géol. Fr.,* 3e Série, t. I, 1873, pp. 409 à 417.

17. 1876. Brady (H. B.). — A monograph of carboniferous and permian Foraminifera. — *Palaeontographical Soc.,* London, n° 30, 1876, 166 p., 12 pl.

18. 1878. Barrois (Ch.). — A geological sketch of the Boulonnais. — *Proceed. Geol. Assoc.,* vol. VI, n. 1, 1878 (tir. à p., 37 pp.).

19. 1878. von Möller (Val.). — Die spiral-gewundenen Foraminiferen des russischen Kohlenkalks. — *Mém. Acad. imp. Sc. St Pétersbourg,* 7e Série, t. XXV, n. 9, 1878, 136 pp., 15 pl.

20. 1879. von Möller (Val.). — Die Foraminiferen des russischen Kohlenkalks. — *Mém. Acad. imp. Sc. St Pétersb.,* 7e Série, t. XXVII, n. 5, 1879, 120 pp., 7 pl. (passim).

21. 1880. Gosselet (J.). — Esquisse géologique du Nord de la France et des contrées voisines. 1er fasc., Terrains primaires. — 1880.

22. 1880. Gosselet (J.). — Considérations générales sur les divisions et la disposition du terrain dévonien dans le Nord de la France et, en particulier, dans le Boulonnais. — *Bull. Soc. géol. Fr.,* 3e Série, t. VIII, 1879-1880, pp. 491 à 501.

23. 1880. Haigneré (D.). — Dictionnaire topographique et archéologique du Pas-de-Calais. — vol. 1, 1880 (passim).

24. 1880. Steinmann (G.). — Mikroskopische Tierreste aus dem deutschen Kohlenkalke. — *Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.,* 1880, pp. 394 à 400, pl. XIX.

25. 1880. Williamson (W. C.). — On the organization of the fossil plants of the Coal-Measures (Part X). Including an examination of the supposed Radiolarians of the carboniferous rocks. — *Phil. Trans. roy. Soc.,* London, 1880, vol. 171, pp. 493 à 539, pl. 14 à 21.

26. 1881. Branco (W.). — Beiträge zur Entwickelungsgeschichte der fossilen Cephalopoden. Teil II: Die Goniatiten, Clymenien, Nautiliden, Belemnitiden, und Spiruliden. — Palaeontographica, n° 27, 1880-81, pp. 19 à 81.

27. 1883. Zittel (K. A.). — Traité de Paléontologie (trad. Ch. Barrois). — 1883, t. II Paléozoologie, P. I. (passim).

28. 1884. Brady (H. B.). — Report on the Foraminifera dredged by H. M. S. Challenger, during the years 1873-1876. — 1884.

29. 1885. Walther (J.). — Die gesteinbildenden Kalkalgen des Golfes von Neapel und die Entstehung strukturloser Kalke. — *Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.,* vol. XXXVII, 1885, pp. 329 à 357.

30. 1886. Deseille (E.) — L'année boulonnaise. — 1885-1886 (passim).

31. 1887. Bornemann (J. G.). — Geologische Algenstudien. — *Jhb. der königl. preuss. geol. Landesanstalt*, Berlin, 1887, pp. 116 à 131, pl. V et VI.

32. 1887. Wethered (E.). — On the structure and organisms of the Lower Limestone shales, Carboniferous Limestone, and Upper Limestone of the forest of Dean. — *Geol. Mag.*, Dec. III, vol. 3, pp. 529 à 540, pl. XIV et XV.

33. 1888. Gosselet (J.). — L'Ardenne. — *Mém. Carte géol. Fr.*, 1888, pp. 675 à 683.

34. 1888. Nicholson (H. A.). — On certain anomalous organisms which are concerned in the formation of some of the palaeozoic limestones. — *Geol. Mag.*, Dec. III, vol. 5, pp. 15 à 24.

35. 1888. Seeley (H. G.). — On the origin of oolitic texture in limestone rocks. — *Rep. brit. Assoc. Adv. Sci.*, Bath Meeting, 1888, p. 674 et suiv.

36. 1890. Wethered (E.). — On the occurrence of the genus *Girvanella* in oolitic rocks. — *Quart. Journ. geol. Soc.*, London, 1890, vol. XLVII, p. 28 sq., pl. XI, fig. 1 et 2.

37. 1890. Rothpletz (A.). — Ueber *Sphaerocodium Bornemanni*, eine neue fossile Kalkalge aus den Raibler Schichten der Ostalpen. — *Botan. Centralbl.*, 1890, vol. XLI, p. 9.

38. 1891. Gosselet (J.). — Observations au sujet de la note de M. Olry sur le terrain houiller du Boulonnais. — *Ann. Soc. géol. Nord*, t. XIX, 1891, pp. 13 à 24.

39. 1891. Rothpletz (A). — Fossile Kalkalgen aus den Familien der Codiaceen und der Corallineen. — *Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, 1891, pp. 295 à 322, pl. XV, XVI et XVII.

40. 1892. Rigaux (E.). — Notice géologique sur le Bas-Boulonnais. — *Mém. Soc. acad. Boulogne-sur-Mer*, vol. 14, 1892 (tir. à p., pp. 5 à 27).

41. 1892. Rothpletz (A.). — Ueber die Bildung der Oolithe. — *Botan. Centralbl.*, vol. 51, 1892, pp. 265 sq.

42. 1894. Brown (Al.). — On the structure and affinities of the genus *Solenopora* together with descriptions of new species. — *Geol. Mag.*, 1894, Dec. IV, vol. 1, pp. 145 à 151 et 195 à 203, 1. pl.

43. 1895. Klément (C.). — Sur l'origine de la dolomie dans les formations sédimentaires. — *Bull. Soc. belge Géol.*, vol. 9, 1895, 23 pp.

44. 1895. Wethered (E.). — The formation of oolite. — *Quart. Journ. geol. Soc.*, London, 1895, vol. LI, pp. 196 à 209, pl. VII.

45. 1896. Hankar (Alb.). — Compte rendu de la session annuelle extraordinaire de 1895 tenue dans le Nord de la France et dans le Boulonnais du 17 au 25 août. — *Bull. Soc. belge Géol.*, vol. 9, 1895, Mém., pp. 452 à 462: Excurs. aux environs de Marquise (Terrains primaires du Boulonnais) et théorie du bassin houiller du Boulonnais, par J. Gosselet.

46. 1897. Engler (A.) et Prantl (K.). — Die natürlichen Pflanzenfamilien. — Leipzig, Engelmann, 1897, I. Teil, Abteil. 2 (passim).

47. 1898. Schellwien (E.). — Die Fauna des karnischen Fusulinenkalkes. — *Palaeontographica*, n. 44, 1897-1898, p. 262 sq.

48. 1899. Gosselet (J.). — Aperçu général sur la géologie du Boulonnais, in Ouvr. offert par la ville de Boulogne-sur-Mer aux membres du XXVIII[e] Congrès de l'Ass. fr. Av. Sc., 1899 (tir. à p. 50 pp.).

49. 1902. Harker (Alfred). — Pétrographie (trad. O. Chemin). — Paris, Béranger, 1902, pp. 321 à 350.

50. 1903. Gosselet (J.). — La faille d'Hydrequent. — *Ann. Soc. géol. Nord*, t. XXXII, 1903, pp. 131 à 135.

51. 1904. Cornet (J.). — C. R. de la session extraordinaire de la Soc. géol. de Belgique, tenue à Boulogne-sur-Mer du 18 au 24 sept. 1904. — *Ann. Soc. géol. de Belg.*, vol. XXXI, 1905, Bull., pp. 179 à 214 et 222 à 232.

52. 1904. Linck (G.). — Die Bildung der Oolithe und Rogensteine. — *Neues Jhb. für Min.*, BB., vol. XVI, pp. 495 à 513.

53. 1904. Olry (A.). — Topographie souterraine du bassin houiller du Boulonnais ou bassin d'Hardingen. — *Et. Gîtes min. Fr.*, Impr. nat., 1904, vol. in-4°, 240 pp., 2 cartes (passim).

54. 1905. Skeats (E. W.). — On the chemical and mineralogical evidence as to the origin of the dolomites of southern Tyrol. — *Quart. Journ. geol. Soc.*, 1905, pp. 97 à 142, 5 pl.

55. 1905. Schulze (F. E.). — Die Xenophyophoren, eine besondere Gruppe der Rhizopoden. — Wissensch. Ergeb. d. deutsch. Tiefsee-Exped. auf dem Dampfer «Valdivia» 1898-1899, vol. XI, 1905, 54 pp., 8 pl.

56. 1906. Gürich (G.). — Les Spongiostromides du Viséen de la province de Namur. — *Mém. Mus. roy. Hist. nat. de Belg.*, t. III, 1906, 55 pp., 23 pl.

57. 1907. Pfaff (F. W.). — Ueber Dolomit und seine Entstehung. — *Neues Jhb. für Min.*, B. B. XXIII, 1907, pp. 529 à 581.

58. 1908. Gaub (F.). — Die jurassischen Oolithe des schwäbischen Alb. — *Neues Jhb. für Min.*, 1908 II, pp. 87 à 96, pl. VII et VIII.

59. 1908. Kalkowsky (E.). — Oolith und Stromatolith in norddeutschen Buntsandstein. — *Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges.*, 1908, pp. 106 sq.

60. 1908. Rothpletz (A.). — Ueber Algen und Hydrozoen im Silur von Gotland und Oesel. — *Kungl. svenska Vetenskapsakademiens Handlingar.*, Bd. 43, 1908, n° 5, 23 pp., 6 pl.

61. 1909. de Dorlodot (H.). — Description succincte des assises du Calcaire carbonifère de la Belgique et de leurs principaux facies lithologiques. — *Bull. Soc. belge Géol.*, 1909, p. 178 sq.

62. 1909. Linck (G.). — Ueber die Bildung der Oolithe und Rogensteine. — *Jen. Zeitschr. Naturw.*, Jena, 1909, t. 45, pp. 267 à 278, 2 pl.

63. 1909. Cayeux (L.). — Les minerais de fer oolithique de France. Fasc. I: Minerais de fer primaires. — *Et. Gîtes minér. Fr.*, Paris, Imp. nat., 1909, pp. 260 sq.

64. 1910. Cayeux (L.). — Les Algues calcaires du groupe des *Girvanella* et la formation des oolithes. — *C. R. Ac. Sc.*, t. 150, 1910 (7 février), p. 361.

65. 1910. Grandjean (F.). — Le siphon des Ammonites et des Bélemnites. — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 4[e] Série, t. 10, 1910, pp. 496 à 519.

66. 1910. Kaisin (F.). — Sur quelques caractères lithologiques du marbre noir de Dinant. — *Ann. Soc. sc. Brux.*, Louvain. 1909-1910, t. 34, Mém., pp. 199 à 211.

67. 1911. Clarke (F. W.). — The data of geochemistry. — *Un. St. geol. Survey*, Bull. 491, 1911 (passim).

68. 1911. Delépine (G.). — Recherches sur le Calcaire carbonifère de la Belgique. — *Mém. et Trav. Fac. cathol. Lille*, Fasc. VIII, 1911 (passim).

69. 1911. de Dorlodot (H.) et Salée (Ach.). — Sur le synchronisme du Calcaire carbonifère du Boulonnais avec celui de la Belgique et de l'Angleterre. — *C. R. Ac. Sc.*, t. 153, 1911 (11 sept.), pp. 556 à 558.

70. 1911. Rothpletz (A.). — Ueber *Sphaerocodium Zimmermanni* n. sp., eine Kalkalge aus dem Oberdevon Schlesiens. — *Jhb. d. königl. preuss. geol. Landesanst.*, 1911, t. XXXII, pp. 112 à 117, pl. 4 et 5.

71. 1911. Steidtmann (Edw.). — The evolution of limestone and dolomite. — *Journ. of Geol.*, 1911, pp. 323 à 345 et 392 à 428.

72. 1912. Rinne (F.). — Etude pratique des roches (trad. Pervinquière). — 2e édit., Paris, Lamarre, 1912 (passim).

73. 1912. Mac Lean (R. C.). — A group of Rhizopods from the carboniferous period. — *Proc. Cambridge phil. Soc.*, vol. XVI, pt. VI, 1912, pp. 493 à 513.

74. 1912. Garwood (E. J.). — Lower Carboniferous succession in north-west of England. — *Quart. Journ. geol. Soc.*, London, 1912, vol. LXVIII, pp. 449 à 586 (passim).

75. 1913. Rothpletz (A.). — Ueber die Kalkalgen, Spongiostromen und einige andere Fossilien aus dem Obersilur Gottlands. — *Sver. geol. Undersökn.*, Série Ca, n° 10, 54 pp., 9 pl.

76. 1913. Carpentier (A.). — Contribution à l'étude du Carbonifère du Nord de la France. — *Mém. Soc. géol. Nord*, Lille, 1913, t. VII, Mém. II, 427 pp. (passim).

77. 1913. Garwood (E. J.). — On the important part played by calcareous Algae at certains geological horizons, with special reference to the palaeozoic rocks. — *Geol. Mag.*, N. S., Dec. V, vol. 10, pp. 440 à 446; 490 à 498; 545 à 553.

78. 1914. Brown (T. C.). — Origin of oolithes and the oolitic texture in rocks. — *Bull. geol. Soc. of Am.*, t. XXV, 1914, pp. 745 à 780, pl. 26, 27 et 28.

79. 1914. Cayeux (L.). — Existence de nombreuses traces d'Algues perforantes dans les minerais de fer oolithiques de France. — *C. R. Ac. Sc.*, t. 158, 1914, pp. 153 sq.

80. 1914. Drew (G. H.). — On the precipitation of calcium carbonate in the sea by marine bacteria. — *Carnegie Public.*, n° 182, Washington, pp. 30 et 31.

81. 1914. Garwood (E. J.). — Some new rock-building organisms from the Lower Carboniferous beds of Westmorland. — *Geol. Mag.*, N. S., Dec. VI, vol. 1, pp. 265 à 271, pl. XX et XXI.

82[1]. 1916. Cayeux (L.). — Introduction à l'étude pétrographique des roches sédimentaires. — *Mém. Serv. Carte géol. Fr.*, 1916, 515 pp. (passim).

82². 1916. Van Tuyl (Fr. M.). — A contribution to the oolite problem. — *Journ. of Geol.*, t. XXIV, 1916, pp. 792 à 797, 1 pl.

83. 1917. Steidtmann (Edw). — Origin of dolomite as disclosed by stains and other methods. — *Bull. of the geol. Soc. of Am.*, vol. 28, 1917, pp. 431 à 450.

84. 1918. Bucher (W. H.). — On oolithes and spherulites. — *Journ. of Geol.*, vol. XXVI, pp. 593 à 609.

85. 1918. Garwood (E. J.) and Goodyear (E.). — On the geology of the Old Radnor district, with special reference to an algal development in the Woolhope Limestone. — *Quart. Journ. geol. Soc.*, t. LXXIV, 1918, pp. 1 à 31.

86. 1918. De Lapparent (J.). — Etude lithologique des terrains crétacés de la région d'Hendaye. — *Mém. Serv. Carte géol. Fr.*, 1918, pp. 58 à 64.

87. 1921. Chapman (Fr.). — On Ostracoda, Foraminifera and some organisms related to *Calcisphaerae* from the Devonian of Germany. — *Journ. roy. micr. Soc.*, 1921, pp. 329 à 340, pl. VIII.

88. 1921. Delépine (G.). — Note sur la position stratigraphique de la dolomie du Hure (Boulonnais). — *Ann. Soc., géol. Nord*, t. XLV, 1921, pp. 142 à 145.

89. 1921. Jones (T. A.). — A contribution to the microscopic study of the Carboniferous Limestone of North Wales. — *Proc. Liverpool geol. Soc.*, vol. XIII, 1921, pp. 78 à 99, 2 pl.

90. 1921. De Lapparent (J.). — Le caractère épisodique des bancs du Calcaire carbonifère dans le Boulonnais et la dolomitisation de certains d'entre eux. — *C. R. Ac. Sc.*, t. 172, 1921 (25 avril), pp. 1052 à 1054.

91. 1921. Pruvost (P.) et Delépine (G.). — Observations sur la faille d'Hydrequent et sur les couches de base du Carbonifère dans le Bas-Boulonnais. — *Bull. Soc. géol. Fr.*, 4ᵉ Série, t. XXI, 1921, pp. 189 à 206, pl. X.

92¹. 1921. Sollas (W. J.). — On *Saccamina Carteri* Brady, and the minute structure of the foraminiferal shell. — *Quart. Journ. geol. Soc.*, vol. LXXVII, 1921, pp. 193 à 212, 1 pl.

92². 1922. Kaisin (F.). — Les roches du Dinantien de Belgique. — *C. R. Congr. géol. intern. Belg.*, 1922, XIIIᵉ Session, Fasc. III, pp. 1237 à 1269, pl. XXVII à XXXII.

92³. 1922. Kaisin (F.). — Brèches dinantiennes de Belgique. — *C. R. Congr. géol. intern. Belg.*, 1922, XIIIᵉ Session, fasc. III, p. 1274 sq.

93. 1922. Lacroix (A.). — Minéralogie de Madagascar. — Paris, Challamel, 1922, 3 vol. (passim).

94. 1922. De Lapparent (J.). — Les facies bréchiques du Calcaire carbonifère. — *Ann. Soc. géol. Nord*, t. XLVII, 1922, pp. 110 à 113.

95. 1922. De Lapparent (J.). — De quelques manières d'être des calcaires oolithiques. — *C. R. Congr. géol. intern. Belg.*, 1922, XIIIᵉ session, fasc. III, pp. 1303 à 1307, pl. XXXIX.

96¹. 1923. Carpentier (A.). — Revue des travaux de paléontologie végétale publiés dans le cours des années 1910-1919. T. I. Paléozoïque (passim).

PLANCHE I.

CARRIÈRE DE LA VALLÉE HEUREUSE

ET

CARRIÈRE DES MARBRES DU BOULONNAIS.

Fig. 1. — Portion de la carrière de la Vallée Heureuse (Hydrequent), photographiée pendant le montage du portique électrique (cf. Introduction p. 4, et p. 29).

Au premier plan se détache un massif de calcaire blanc constitué par un certain nombre de bancs exploités à fin de marbrerie (marbre Lunel). Ce marbre Lunel repose sur les calcaires dolomitiques et la dolomie grenue à *Lithostrotion Martini* qui s'observent, en plus foncé, entre l'extrémité droite du massif blanchâtre et le cône d'éboulis situé un peu plus loin vers la gauche.

Ces épisodes dolomitiques se voient mieux sur le second plan où ils sont plus dégagés. Ils s'y présentent sous forme de bancs foncés qui tranchent, par leur régularité, sur l'aspect morcelé des bancs de Lunel ; ils reposent sur un complexe silico-dolomitique découvert sur une douzaine de mètres mais en partie masqué par les éboulis (cf. Série stratigraphique, p. 38).

Fig. 2. — Carrière dite « des Marbres du Boulonnais » où l'on exploite toutes les variétés du marbre Napoléon (cf. Série stratigraphique, p. 38).

Le marbre Joinville (1 m 25 env. d'épaisseur) s'observe en haut de la photographie, à gauche. Il est marqué à sa partie supérieure par trois encoches.

Le plancher de la carrière, encombré de cailloutis, est constitué par quatre ou cinq bancs de calcaire rubané noir sur lesquels repose la formation bréchique dite « Napoléon Grand Mélange » (tranche inférieure du front de taille).

N. B. Les deux carrières sont en pleine exploitation. L'absence de tout personnel est due au fait que, pour des raisons de commodité et de liberté plus grandes, j'ai pris ces photographies un dimanche.

1

2

PLANCHE II.

MARBRE «HENRIETTE»

CONSTRUIT PAR POLYMORPHOCODIUM LAPPARENTI.

Fig. 3. — Marbre Henriette (variété brune), vu « dans sa passe », c'est-à-dire en section horizontale, parallèle au lit de carrière (p. 44). — Ce marbre fut exploité jusqu'en 1906 à la carrière du Haut-Banc.

L'organisme, à contour sinueux, se détache en plus foncé sur le calcaire à grain fin (cf. pl. II, fig. 5) qui le moule. Il se présente sous l'aspect d'un paraphe à contour irrégulier et de teinte sombre relevée de fins liserés blanchâtres. Cette différence de teinte en surface polie correspond à une différence de texture ; les liserés blancs sont de calcaire granuleux et les plages sombres, de calcite moins finement cristallisée (pp. 46 sq.).

Grandeur naturelle.

Fig. 4. — Texture de l'organisme (pp. 46 sq.).

La texture de l'organisme est, en règle générale, profondément périmée (cf. pl. III, fig. 6, 7, 8 et 9) ; et les photographies que j'en donne dans les planches II, III et IV sont les reproductions d'échantillons de choix, quelques-unes même, d'échantillons exceptionnels.

La partie supérieure de la photographie, sombre et de calcaire granuleux, ne donne qu'une idée imparfaite de la texture des liserés blancs (p. 46). Les petits points hyalins qu'on y observe sont des sections de tubes de tout petit calibre, entassés les uns sur les autres, enchevêtrés, et empâtés de calcaire granuleux. La figure 6 de la planche III (lisière de droite) en donne une meilleure reproduction bien qu'encore imparfaite (p. 46).

La portion claire sous-jacente est formée de tubes de plus gros calibre, à course irrégulière aussi et que les sections n'intéressent jamais que sous forme de vermiculures et de petits tronçons arqués en accent circonflexe (cf. pl. III, fig. 10).

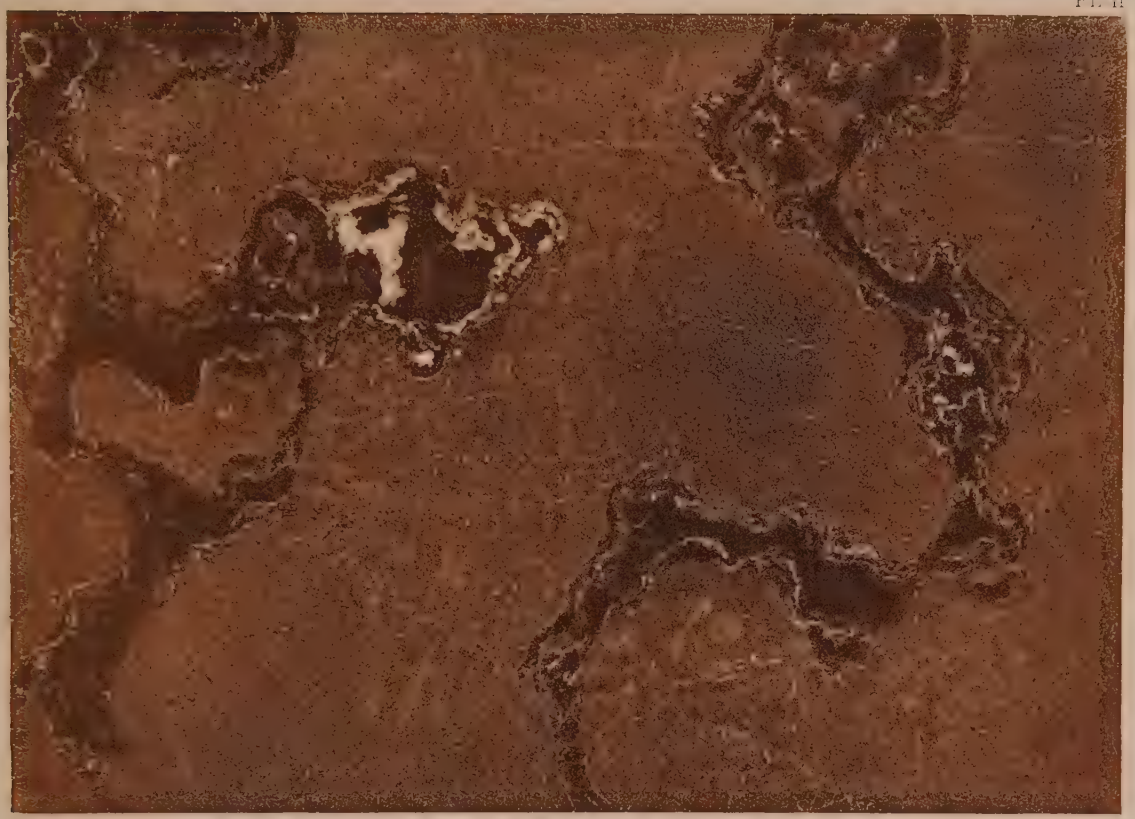
Gr. : 27 diam.

Fig. 5. — Calcaire à grain fin (pp. 32 et 45) qui moule l'organisme.

Sédiment fin, chargé de calcaire granuleux et riche en organismes ou fragments organiques. Les fragments blancs allongés sont des débris de Tabulés ; on observe en outre deux ampoules libres (cf. pl. III, fig. 6, 7 et 9) et de nombreuses petites sphères à paroi épaisse granuleuse qui sont des Granulosphères (cf. pl. XVI, fig. 58 ; et pl. XVIII, fig. 73, 74, 75 et 78).

Gr. : 30 diam.

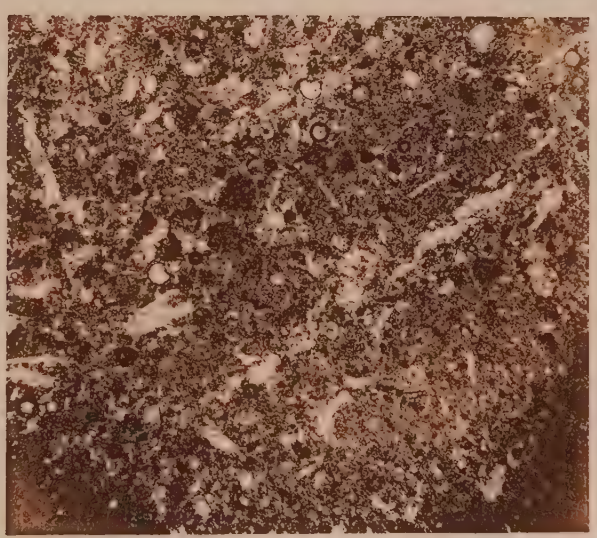
X



Y

a

c



b

PLANCHE III.

POLYMORPHOCODIUM LAPPARENTI NOV. GEN.

MICROTEXTURE DU THALLE.

Fig. 6. — Zones superficielles de l'organisme où se forment les ampoules.

La figure intéresse la surface de l'organisme en section transversale (portion droite) et en section tangentielle (massif isolé au milieu du calcaire à grain fin qui constitue la gangue de l'organisme). La coupe transversale montre, à droite, une zone granuleuse ponctuée de points blancs. Les tubes qui y sont de taille très menue et enchevêtrés s'élargissent et régularisent leur course au voisinage de la surface ; on les voit, dans le secteur nord-est de la photographie, sous la forme de lignes granuleuses ondulées. La coupe tangentielle reproduit les mêmes détails mais avec plus de netteté : les tubes dilatés en boyaux et les ampoules.

Gr. : 30 diam.

Fig. 7. — Coupe transversale de l'organisme montrant les ampoules en place (p. 48).

Au centre, le calcaire à grain fin (vase) qui moule l'organisme. Au-dessus, à droite, et au-dessous de la ligne sinueuse marquée par les ampoules, le tissu organique qui est complètement oblitéré.

Gr. : 10 diam.

Fig. 8. — Tissu de l'organisme périmé par suite de recristallisation.

Il ne subsiste que quelques courts tronçons de tubes en forme de vermiculures et d'accents circonflexes.

Gr. : 30 diam.

Fig. 9. — Formation des ampoules (Cette photographie est l'agrandissement du groupe d'ampoules situé vers le milieu de la lisière droite sur la figure 7).

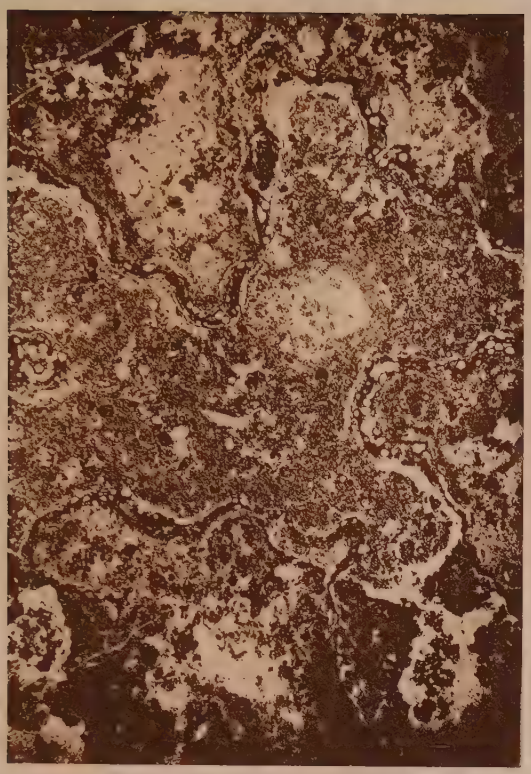
Les ampoules prennent naissance dans les tubes ; fixées à la paroi profonde des tubes, elles se développent en faisant hernie vers l'extérieur. Ce détail se voit nettement au niveau des deux ampoules qui sont situées le plus à droite (p. 49).

Gr. : 30 diam.

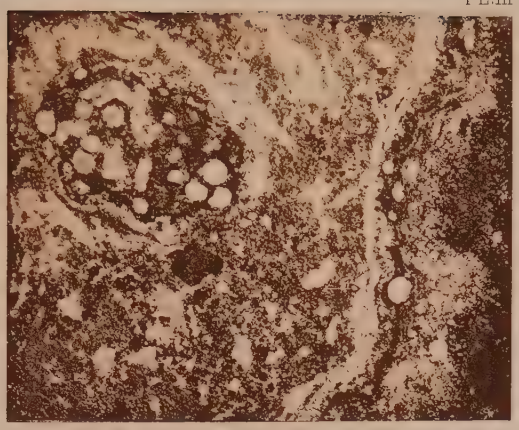
Fig. 10. — Texture de l'organisme (p. 47).

On remarquera, dans un rayon de deux centimètres autour du centre de la photographie, deux fragments de tubes qui se bifurquent. Cette photographie est à rapprocher de la figure 4 de la planche II.

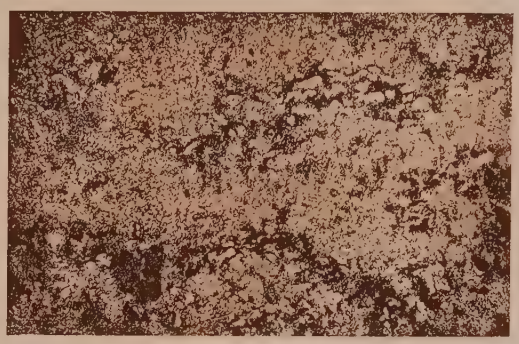
Gr. : 27 diam.



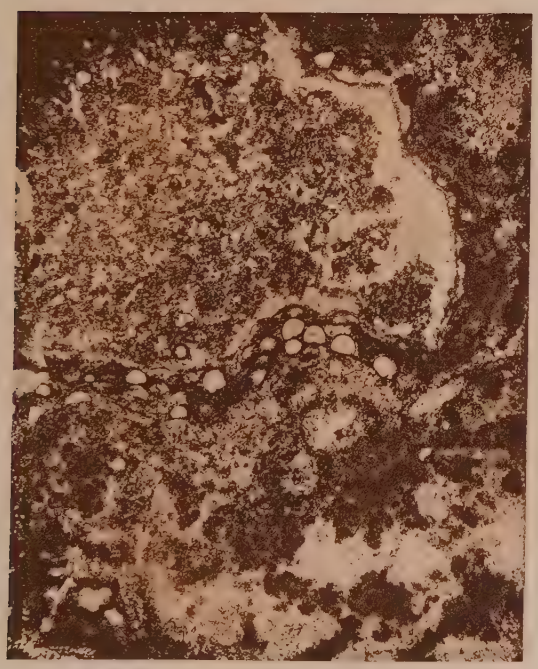
7



6



8



9

10

PLANCHE IV.

POLYMORPHOCODIUM LAPPARENTI

COMPARÉ AU SPHAEROCODIUM GOTLANDICUM ROTHPLETZ.

Fig. 11. — *Sphaerocodium gotlandicum* Rothpletz du Silurien de Ronehamm (Gotland), grossi 11 fois. (Reproduit d'après Rothpletz Aug. — Ueber Algen und Hydrozoen im Silur von Gotland und Oesel, pl. I, fig. 5).

Portion superficielle d'un nodule vue en coupe radiale. Des tubes qui constituent le tissu de l'organisme, les plus fins sont invisibles à ce grossissement ; on ne distingue que les gros tubes. Ils sont entortillés et se montrent affectés de divisions dichotomes répétées.

Gr. : 11 diam.

Fig. 12. — *Polymorphocodium Lapparenti* du Calcaire carbonifère du Boulonnais.

Organisme de même allure d'ensemble que *Sphaerocodium gotlandicum* mais de structure moins bien conservée. Les tubes qui le constituent sont de course plus irrégulière ; on les observe bien dans le tiers supérieur de la photographie (à gauche) et dans sa moitié inférieure (à droite).

Gr. : 15 diam.

Fig. 13. — Corpuscule rencontré dans le tissu de *Polymorphocodium Lapparenti* et qui joue vraisemblablement un rôle dans la reproduction de l'organisme (p. 49).

Le corpuscule se montre limité vers l'extérieur par une coque épaisse. Il est entouré de tous côtés par des tubes à course irrégulière et enchevêtrés ; plus loin, en surface de l'organisme, ces tubes régularisent leur marche.

Gr. : 30 diam.

Fig. 14. — Le même corpuscule, vu à un grossissement supérieur.

Gr. : 80 diam.

Fig. 15. — *Sphaerocodium gotlandicum* Rothpletz, grossi 43 fois (Reproduit d'après Rothpletz Aug. — Ueber Algen und Hydrozoen im Silur von Gotland und Oesel, pl. II, fig. 4).

Cette coupe radiale met en évidence l'allure concentrique des gros tubes.

Gr. : 43 diam.

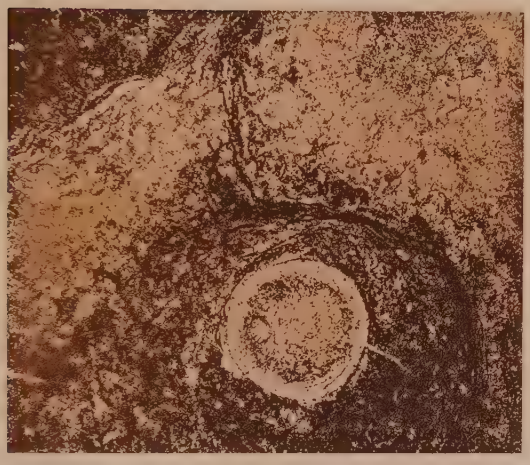
Fig. 16. — *Polymorphocodium Lapparenti.*

A comparer avec la figure 15 ; même allure concentrique d'ensemble ; mais ici, de toute évidence, les tubes ont une course beaucoup moins régulière.

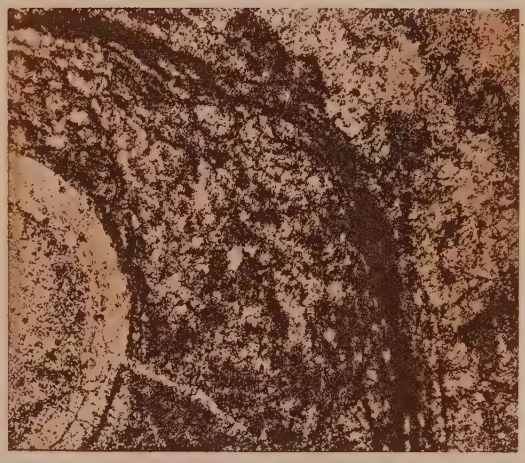
Gr.: 45 diam.

11

12

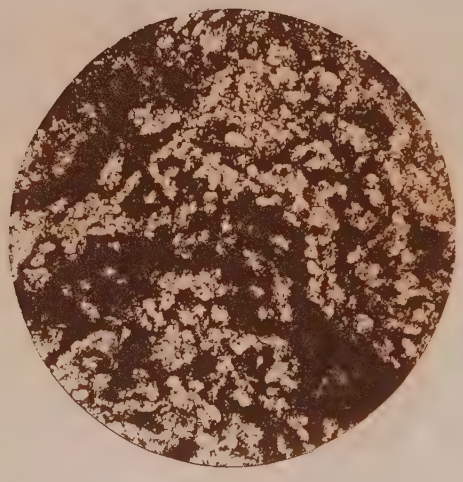


13



14

15



16

PLANCHE V.

MARBRE «NAPOLÉON TIGRÉ»

DIT «PATTES D'ALOUETTES»

CONSTRUIT PAR CORYDOPODIUM PRUVOSTI.

Fig. 17. — Marbre Napoléon Tigré dit « Pattes d'alouettes », construit par *Corydopodium Pruvosti* (p. 55). — Carr. des Marbres du Boulonnais).

L'organisme, en forme de buisson dressé verticalement, est constitué par un thalle à portions élargies et évoluées (lames) réunies entre elles par des portions étroites et restées rudimentaires (pédoncules). Les interstices restés libres entre les différentes portions du thalle sont comblés par de la vase calcaire (calcaire granuleux) ou de la calcite secondaire (p. 57).

Grandeur naturelle.

Fig. 18. — Vue d'ensemble du thalle.

Les lames, à contours sinueux, et indépendantes à l'origine les unes des autres, entrent en rapport par processus de bourgeonnement. La structure membraneuse est ici peu visible ; elle est simplement indiquée par l'orientation des granules de carbonate de calcium (cf. pl. VI, fig. 20 et 22).

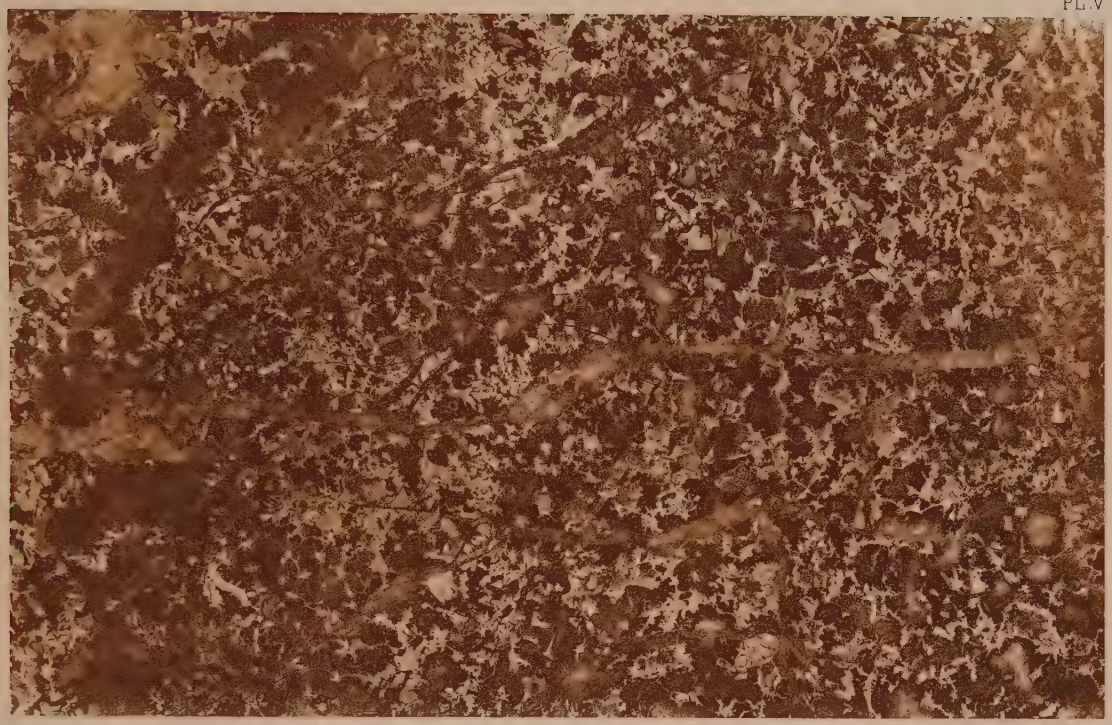
Gr. : 10 diam.

Fig. 19. — Vue d'ensemble d'un organisme provenant de la carrière des Grands Malades (Namur).

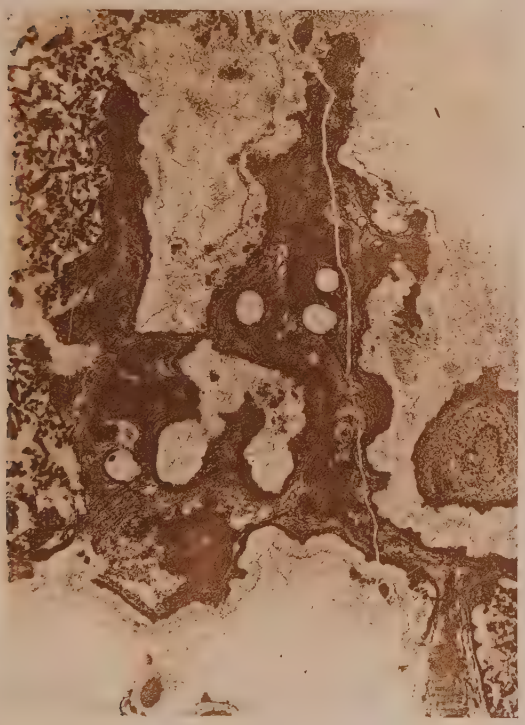
Le niveau organique qu'il constitue est immédiatement superposé à la Grande Brèche ; il est de même position stratigraphique que *Corydopodium Pruvosti* (p. 38).

L'organisme est de même type que *Corydopodium Pruvosti ;* le thalle est de même structure dans l'ensemble comme dans les détails — mais il est, dans l'organisme belge, moins développé.

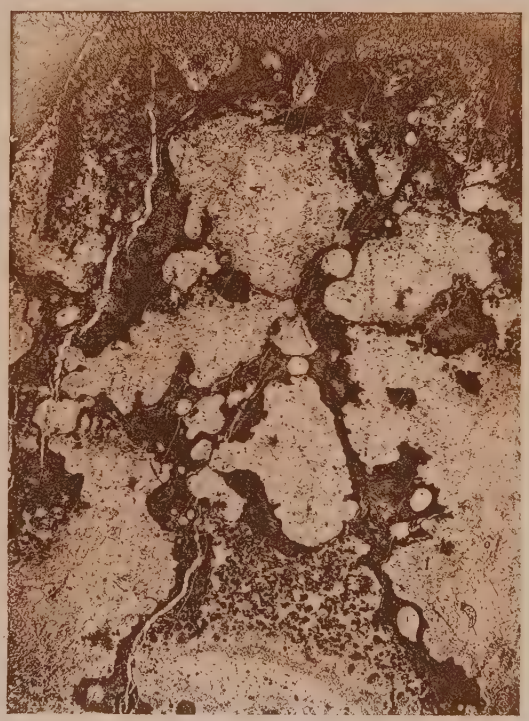
Gr. : 10 diam.



17



18



19

PLANCHE VI.

CORYDOPODIUM PRUVOSTI NOV. GEN.

MICROTEXTURE DU THALLE.

Fig. 20. — Vue d'ensemble du thalle,

mettant particulièrement en relief la structure membraneuse de l'organisme (moitié supérieure de la photographie). Cette structure membraneuse se retrouve dans la moitié inférieure, mais elle y est moins dense et plus localisée ; le thalle y est, par ailleurs, creusé de nombreuses vacuoles remplies de calcite hyaline. Ce sont là autant de caractères qui amènent à conclure que les deux portions du thalle sont à des phases diverses de leur évolution : la portion supérieure est jeune encore et en voie d'accroissement, l'inférieure est évoluée.

Gr. : 10 diam.

Fig. 21. — Autre vue d'ensemble du thalle.

On observera, outre les détails ci-dessus mentionnés (structure membraneuse, existence des vacuoles), la formation de bourgeons (bord gauche de la photographie, vers le milieu).

Des deux bourgeons l'inférieur seul est intéressé en entier par la coupe ; on y distingue nettement la portion pédonculaire qui relie le bourgeon au thalle (p. 58).

Le pédoncule, resté à l'état plus ou moins rudimentaire, est de structure exclusivement membraneuse (cf. secteur nord-ouest de la photographie) ; cette structure qui se retrouve dans les portions plus évoluées du thalle, est localisée de préférence à sa périphérie.

Gr. : 10 diam.

Fig. 22. — Structure membraneuse (portion grossie de la figure 20).

Le thalle s'accroît par évagination, la portion distale du bourgeon formé évoluant en lame tandis que la portion proximale reste à l'état rudimentaire.

Comparer avec les figures 21 et 23 de la planche VI.

Gr. : 20 diam.

Fig. 23. — Formation des tractus d'union.

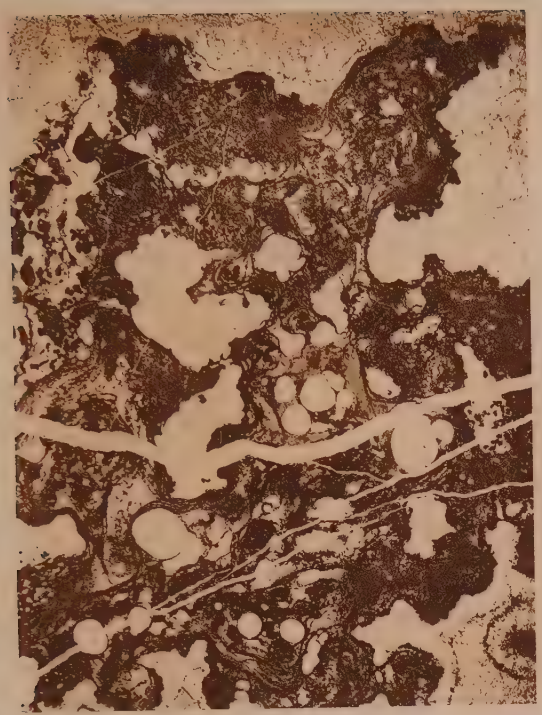
Les tractus se forment de la même manière que les bourgeons, par pincement : il en résulte la formation d'une ganse dont les deux lèvres se sont par la suite rapprochées et fusionnées. Il en reste une trace à l'extrémité gauche du tractus figuré dans la photographie 23 : le tractus y est élargi et montre une tache allongée plus claire ; cette tache est le vestige du vide qui, avant leur fusion, existait entre les deux lèvres de la ganse. Est-ce un véritable tractus ou le pédoncule d'un bourgeon dont la portion distale aurait évolué en lame? C'est difficile à préciser et c'est, au reste, sans importance.

Gr. : 20 diam.

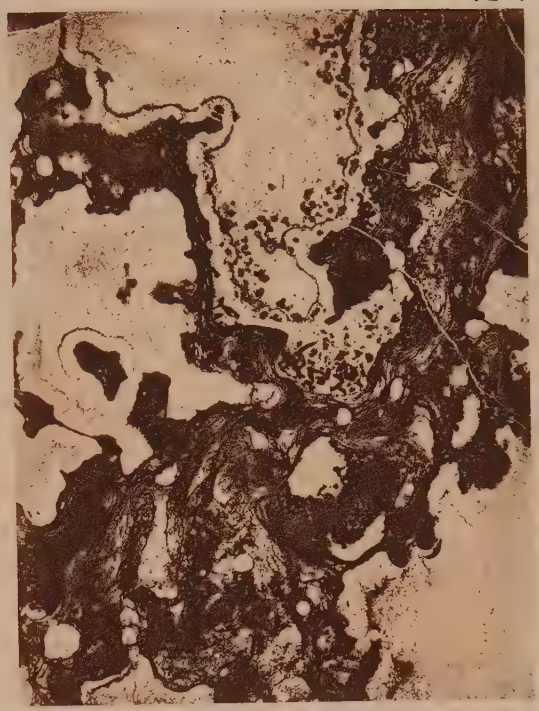
Fig. 24. — Structure et formation des bâtonnets (p. 60).

Les bâtonnets semblent ici provenir, par bouturage, des membranes qui limitent vers l'extérieur la grande vacuole. Cette impression est renforcée par l'allure festonnée que présentent certaines lames (cf. pl. V, fig. 18) ou les parois internes de certaines vacuoles.

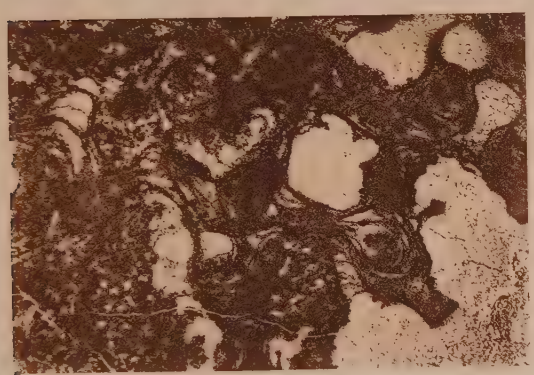
Gr. : 20 diam.



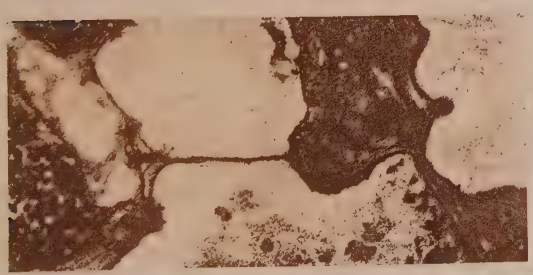
20



21



22



23

24

PLANCHE VII.

CORYDOPODIUM PRUVOSTI.

THALLE FLOCULENT,

THALLE EN VOIE DE DÉGÉNÉRESCENCE.

Fig. 25. — Floculation du thalle.

On remarquera qu'en certains points de la surface organique, la structure membraneuse est admirablement conservée et que c'est aux dépens des membranes (en partie du moins) que se forment les grumeaux.

Gr. : 20 diam.

Fig. 26. — Portion du thalle,

montrant, suivant les places, une structure membraneuse bien conservée ou, au contraire, périmée. Ici encore, les bâtonnets qui remplissent la vacuole semblent formés aux dépens des membranes et provenir de l'écaillement des parois de la vacuole.

Gr. : 20 diam.

Fig. 27. — Formation des bâtonnets (p. 60) et évolution des vacuoles (p. 58).

Du rapprochement des figures 27 (secteur sud-ouest) et 25, il y a lieu de se demander s'il faut distinguer les grumeaux des bâtonnets et si l'aspect que présentent les premiers ne résulterait pas uniquement d'un excès de tassement. Les vacuoles peuvent, au cours de leur évolution, entrer en contact les unes avec les autres ; elles crèvent alors et donnent naissance à des vacuoles plus grandes et festonnées, ces festons étant les vestiges des parois des vacuoles élémentaires distendues (bord droit de la photographie, vers le milieu).

Gr. : 20 diam.

Fig. 28. — Portion de thalle en voie de dégénérescence.

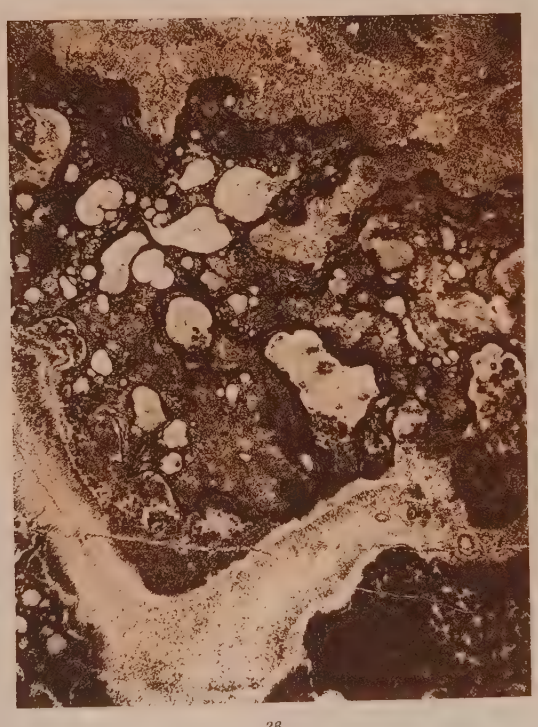
Cette dégénérescence est marquée par la disparition de la structure membraneuse même superficielle, par la résolution du tissu organique en calcaire granuleux et par la multiplication des vacuoles.

Gr. : 10 diam.

25

26

27



28

PLANCHE VIII.

MARBRES «CAROLINE» ET «RUBANÉ NOTRE-DAME»

Fig. 29. — Marbre Caroline (partie supérieure) vu sur front de carrière et en contre-passe.

Echantillon provenant de la carrière actuellement exploitée au Haut-Banc (p. 34).

Gr.: moitié de la grandeur naturelle.

Fig. 30. — Marbre « Rubané Notre-Dame » exploité à la carrière des Marbres du Boulonnais (Hydrequent) (p. 80).

Il est formé de rubans de calcaire grumeleux d'épaisseur et de grains divers, séparés par des délits rouges et recoupés par des diaclases remplies de calcite secondaire.

Grandeur naturelle.

Fig. 31. — Microphotographie du marbre Caroline,

montrant sa nature grumeleuse et donnant bien l'impression d'un sédiment détritique. En rapprochant cette figure de la figure 32 de la planche VIII et des figures 34 et 35 de la planche IX, on est amené à conclure que ce sédiment, en partie du moins, s'est formé aux dépens d'organismes du type *Corydopodium laminare.*

Gr. : 10 diam.

Fig. 32. — *Corydopodium laminare* (p. 70) vu en coupe verticale et intéressé dans toute son épaisseur.

Organisme thallaire à portions élargies unies entre elles par des tractus ou des pédoncules comme chez *Corydopodium Pruvosti.* On remarquera, dans la moitié gauche de la photographie et dans le deuxième tiers en commençant par le bas, des amas de granules qui, selon toute vraisemblance, sont l'équivalent des bâtonnets de *Corydopodium Pruvosti.* Le thalle renferme un certain nombre de corps opaques et granuleux dont certains sont à rapprocher des ovoïdes de Gürich (p. 75) et que j'ai retrouvés chez *Corydopodium Pruvosti* (cf. pl. IX, fig. 33).

Gr. : 10 diam.

29

30

31

32

PLANCHE IX.

MARBRE «CAROLINE»; SA MICROTEXTURE.

MARBRE «LUNEL UNI».

Fig. 33. — Thalle de *Corydopodium Pruvosti*, montrant la formation d'ovoïdes in situ.

Ces ovoïdes, qui me paraissent devoir être rapprochés des ovoïdes de Gürich et de certains des corps opaques de la fig 32 (pl. VIII), se forment dans le thalle et aux dépens du thalle par condensation de sa substance. On remarquera en outre la tendance que présente le thalle à floculer, à se résoudre en tout petits grumeaux.

Gr. : 10 diam.

Fig. 34. — Fragment d'un thalle de *Corydopodium Pruvosti* — portion de thalle floculent.

Il est facile de concevoir que les grumeaux formés aux dépens du thalle puissent entrer, pour une part, dans la constitution des épisodes grumeleux dont l'ensemble constitue le marbre Caroline. Cette photographie est à rapprocher de la figure 31 de la planche VIII et de la figure 35 de la planche IX.

Gr. : 10 diam.

Fig. 35. — Microphotographie du marbre Caroline.

Cette photographie complète la figure 31 de la planche VIII ; elle met en évidence que les rubans qui constituent le marbre Caroline ne sont pas exclusivement grumeleux mais qu'on y rencontre en outre des épisodes organiques.

Le ruban supérieur est ici nettement organique ; l'organisme qui le constitue est du type *Corydopodium laminare.*

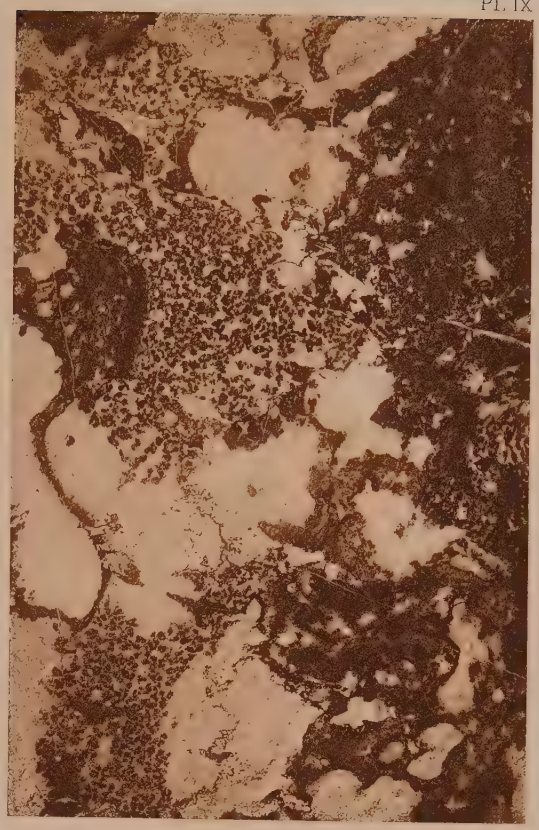
Gr. : 10 diam.

Fig. 36. — Marbre « Lunel uni ».

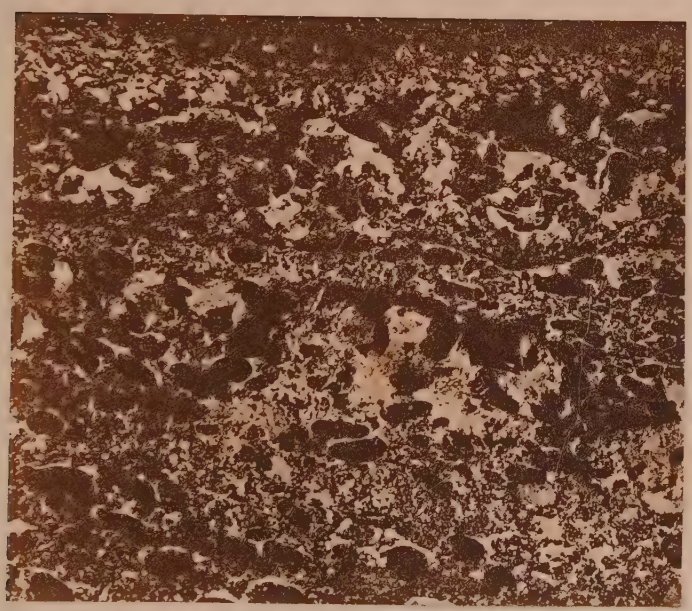
Calcaire à grain fin renfermant des Foraminifères (en haut, au milieu), des coquilles d'Ostracodes (au milieu et en bas), des Granulosphères et des fragments de Tabulés (au milieu, à droite — et dans le bas).

Gr. : 10 diam.

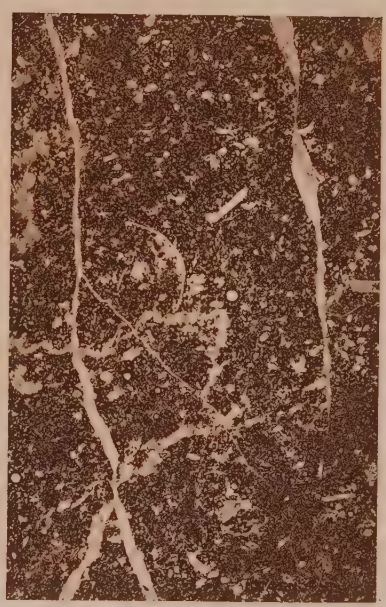
33



34



35



36

PLANCHE X.

PORTION «FLEURIE» DU BANC PARISIEN N° 2.

VUE D'ENSEMBLE.

Fig. 37. — Coupe verticale du Fleuri du Banc Parisien n° 2 ; le marbre est vu en contre-passe (carrière de la Vallée Heureuse, Hydrequent).

Le tiers inférieur de la photographie est de « Lunel uni » (p. 85), interrompu par deux rubans organiques. Ces rubans sont construits par des Algues en tube du type *Mitcheldeania* vivant à l'état libre (cf. pl. XI, fig. 38) ou encroûtant des esquilles d'Ostracodes ou de Brachiopodes.

Un organisme de même type mais de texture fort mal conservée donne naissance plus haut à des volutes verticales auxquelles j'ai donné le nom de « Bouffées de pipe ». La figure 44 de la planche XIII montre ce niveau intéressé dans sa passe.

A la partie supérieure du Lunel Fleuri, les organismes sont entassés sans ordre. La figure 43 de la planche XII en donne une coupe frontale grossie et la figure 41 de la même planche donne, en grandeur naturelle, une reproduction du marbre (que l'on exploite toujours dans sa passe).

Le Banc Parisien n° 2 se termine, à sa partie supérieure, par un niveau graveleux dont on observe sans peine la stratification entrecroisée.

N.B. — C'est à une erreur de sciage et surtout à la bienveillante attention de M. Admont, Chef de service à la Marbrerie de la carrière de la Vallée Heureuse, que je dois ce document précieux. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma reconnaissance.

Grandeur naturelle.

PL. X (part. supére.)

PLANCHE XI.

CORDONS COQUILLIERS DU BANC PARISIEN N° 2.

MITCHELDEANIA ZONATA NOV. SP.

Fig. 38. — Organisme en forme de nodule provenant du Lunel uni (p. 86).

Algue tubuleuse, à tubes verticaux alternativement fins et réguliers, dilatés et variqueux. Les premiers forment des zones denses et granuleuses, les seconds des zones à larges plages de calcite secondaire qui a pris la place du tissu détruit. Sur le marbre poli, les zones denses et granuleuses tranchent en blanc laiteux sur la teinte sombre des zones plus largement cristallisées (cf. pl. X, fig. 37, en bas).

Gr. : 10 diam.

Fig. 39. — Texture de l'organisme (p. 87).

Les tubes, fins et réguliers, se dilatent brusquement et tous au même niveau pour donner naissance à des boyaux variqueux. Il semble qu'au niveau des boyaux, des communications latérales s'établissent entre les tubes. Par destruction des parois des tubes, consécutive à leur dilatation, les zones à tubes variqueux se transforment aisément en plages de calcite hyaline.

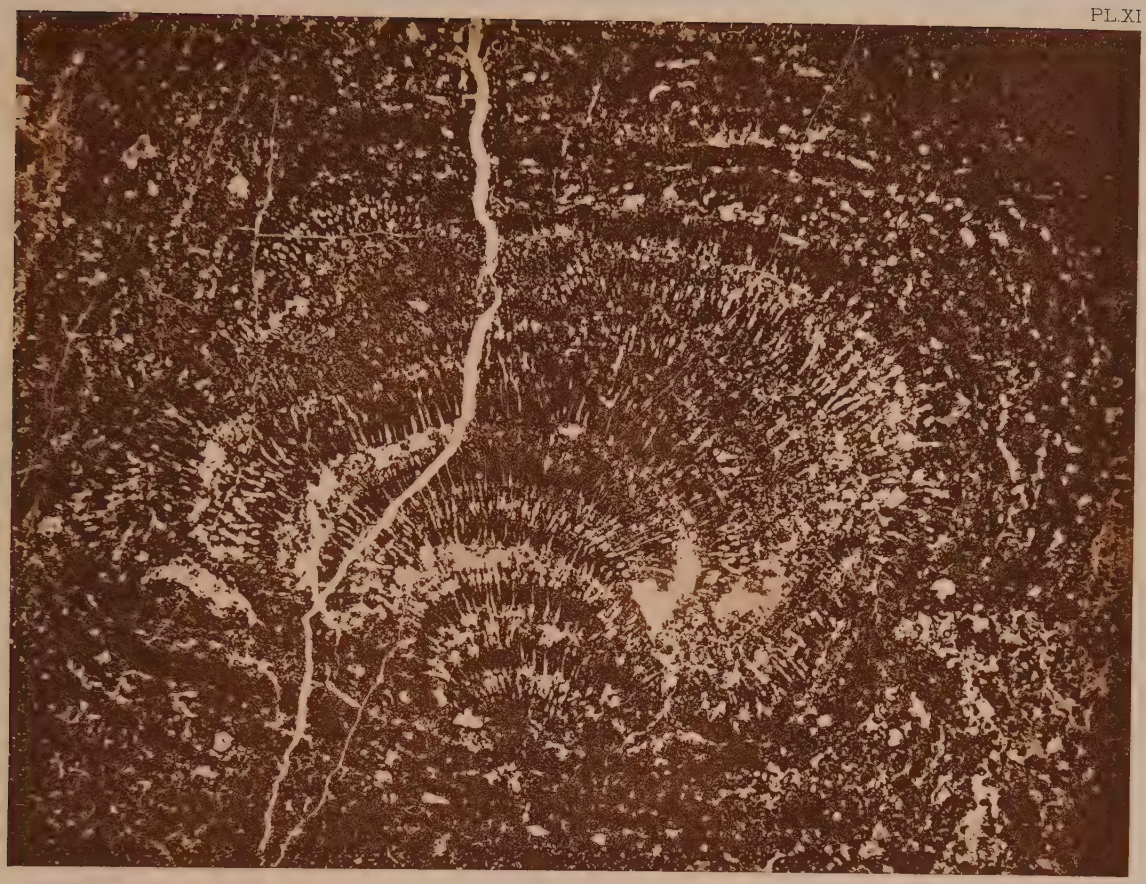
Gr. : 25 diam.

Fig. 40. — Bifurcation des tubes.

Les tubes se multiplient par voie dichotomique et il semble que les divisions se répètent à court intervalle.

On peut voir, à droite de la diaclase, quelques tubes en voie de multiplication.

Gr. : 25 diam.



38

39

40

PLANCHE XII.

LE MARBRE «LUNEL FLEURI»

DU BANC PARISIEN N° 2.

Fig. 41. — Fleuri du Banc Parisien n° 2, dans sa portion supérieure immédiatement sous-jacente à l'épisode graveleux (cf. pl. X, fig. 37). — Carrière de la Vallée Heureuse, Hydrequent.

Le Fleuri est, ici, intéressé horizontalement et sur lit de carrière ou, comme disent les exploitants, « dans sa passe ».

Les portions organiques du marbre sont représentées par les paraphes foncés bordés de liserés blanchâtres, le tout moulé par un calcaire à grain fin qui sert de gangue à l'organisme.

Grandeur nature.

Fig. 42. — Fragment de *Mitcheldeania zonata,*

montrant les dilatations ampulliformes que présentent les tubes, dilatations qui se produisent au même niveau approximatif pour tous les tubes. Ceux-ci paraissent ici moins réguliers dans leur course ; sauf exception, la photographie ne les intéresse que sur une faible longueur (p. 87).

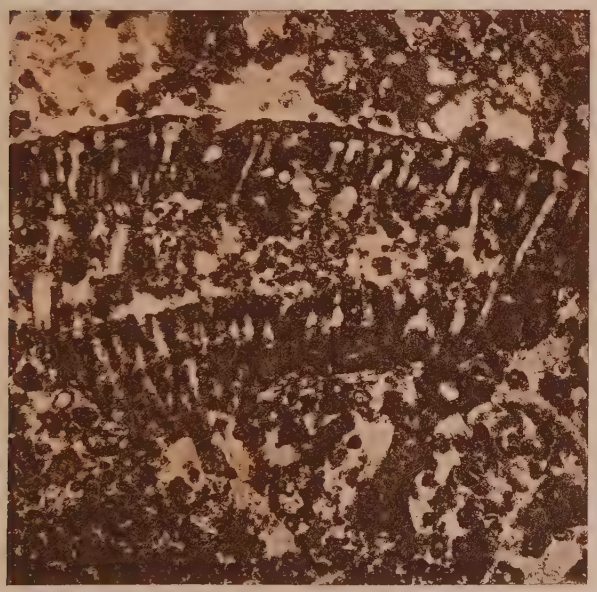
Gr. : 25 diam.

Fig. 43. — Fleuri du Banc Parisien n° 2, dans sa portion supérieure immédiatement sous-jacente à l'épisode graveleux (cf. pl. X, fig 37).

La coupe, frontale, et perpendiculaire à celle suivant laquelle le niveau organique est intéressé dans la figure 41, montre qu'il s'agit bien d'organismes du type de *Mitcheldeania zonata* entassés pêle-mêle et diversement orientés. Vers le centre et dans le coin sud-est, deux de ces organismes zonaires sont intéressés verticalement ; les paraphes foncés à liserés blanchâtres correspondent à des coupes transversales ou obliques.

Grandeur nature.

41



42

43

PLANCHE XIII.

LES «BOUFFÉES DE PIPE».

LE MARBRE «NAPOLÉON GRAND MÉLANGE».

Fig. 44. — *Mitcheldeania capnostyloïdes* n. sp. (« Bouffées de pipe »).

Niveau des « Bouffées de pipe » vu en coupe horizontale, c'est-à-dire dans sa passe (cf. pl. X, fig. 37, vers le milieu).

Grandeur nature.

Fig. 45. — Coupe verticale de *Mitcheldeania capnostyloïdes* (p. 97).

L'organisme, à texture plus ou moins profondément périmée, se compose d'éléments tubulaires à développement vertical. Comme chez *Mitcheldeania zonata,* il y a alternance de deux tissus, l'un plus dense et de calcaire granuleux, l'autre dont la texture est en partie détruite et remplacée par de larges plages de calcite secondaire. La zonation existe mais elle est beaucoup moins nette que chez *Mitcheldeania zonata.*

Gr. : 25 diam.

Fig. 46. — Marbre « Napoléon Grand Mélange » (Carrière des Marbres du Boulonnais). — Portion supérieure vue sur front de carrière.

Brèche d'organismes (p. 101).

Gr.: moitié de la grandeur naturelle.

Fig. 47. — Marbre « Napoléon Grand Mélange » (Carrière des Marbres du Boulonnais). — Portion inférieure de la formation bréchique vue sur front de carrière. —

Brèche claire à fragments anguleux de calcaires rubanés et de calcaires zonaires à texture granuleuse et grumeleuse (p. 100).

Gr.: moitié de la grandeur naturelle.

44

46

45

47

PLANCHE XIV.

LES «GRA'MÈRES»

STRUCTURE DE STYLOCODIUM RHOPALOIDES NOV. GEN.

Fig. 48. — Une portion de Gra'mère vue en coupe longitudinale.

D'aspect massif dans le bas, l'organisme est toujours profondément échancré à sa partie supérieure. Dans ces échancrures, la vase calcaire s'est déposée sous forme d'un rubané.

Gr. : réd. 3/8 de la grandeur naturelle.

Fig. 49. — Le même organisme vu en coupe longitudinale et montrant mieux les détails anatomiques (p. 104).

Il se résout en une série de colonnes verticales comportant chacune une columelle limitée vers l'extérieur par un fin liseré blanchâtre. Ces colonnes sont inégalement développées ; elles sont interrompues et fractionnées, ce qui tendrait à faire déduire l'irrégularité de leur parcours. Dans les interstices restés libres entre les colonnes, des organismes (Ostracodes, petits Brachiopodes) sont tombés et sont restés emprisonnés.

Gr. : 2/3 de la grandeur naturelle.

Fig. 50. — Le même organisme vu en coupe transversale.

On remarquera sans peine l'inégal développement des colonnes verticales et, dans chacune d'elles, on distinguera la portion centrale columellaire du liseré blanchâtre qui la recouvre.

Dans la moitié supérieure de la photographie, s'observent trois corps arrondis qui rappellent des formations analogues de *Polymorphocodium Lapparenti* (cf. pl. IV, fig. 13 et 14).

Grandeur nature.

Fig. 51. — Une des colonnes, sa texture.

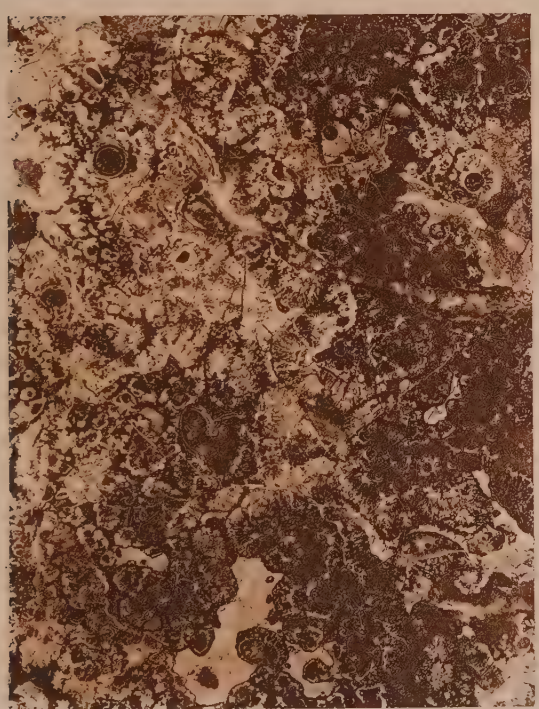
La portion centrale, claire, est de texture tubulaire (cf. pl. XV, fig. 52) ; elle correspond, sur marbre poli, aux plages de demi-teinte.

La zone très découpée et noire de calcaire granuleux qui la recouvre extérieurement répond aux liserés blanchâtres qui présentent l'aspect d'une dentelle (cf. pl. XIV, fig. 49).

Gr. : 10 diam.

48

49



50

51

PLANCHE XV.

MICROTEXTURE DE STYLOCODIUM RHOPALOIDES.

LE MARBRE «JOINVILLE».

Fig. 52. — Une colonne vue en section verticale, montrant la texture tubulaire de la région columellaire.

Les tubes, ondulés et noueux, ont rarement l'allure de boyaux allongés ; ils se présentent, à l'ordinaire, sous forme de vermiculures comme chez *Polymorphocodium Lapparenti* (cf. pl. III, fig. 10 et IV, fig. 16).

A droite, vers le dernier tiers, quelques boyaux allongés semblent réunir et mettre en communication la colonne de gauche avec celle de droite qui n'est qu'en partie intéressée par la photographie.

Gr. : 30 diam.

Fig. 53. — Section transversale d'une colonne.

La texture de la zone granuleuse superficielle est, ici, moins énigmatique. Elle est, elle aussi, constituée par des tubes ; mais ces tubes semblent plus réguliers dans leur course et de diamètre plus restreint d'où l'aspect de lignes ondulées noirâtres et granuleuses.

Gr. : 25 diam.

Fig. 54. — Une colonne vue en section transversale.

On y observe, outre les détails mentionnés aux figures 52 et 53, ce fait que les colonnes ne sont pas toujours simples et peuvent former un tout complexe (p. 104).

Gr. : 10 diam.

Fig. 55. — Marbre Joinville vu en surface polie (p. 109),

à fond gris ou rosé (partie claire) tacheté de noir ou de rouge violacé (traînées sombres).

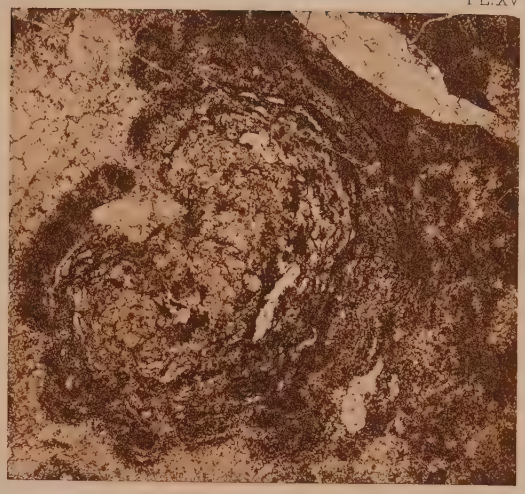
Grandeur nature.

Fig. 56. — Marbre Joinville vu en lame mince (p. 110).

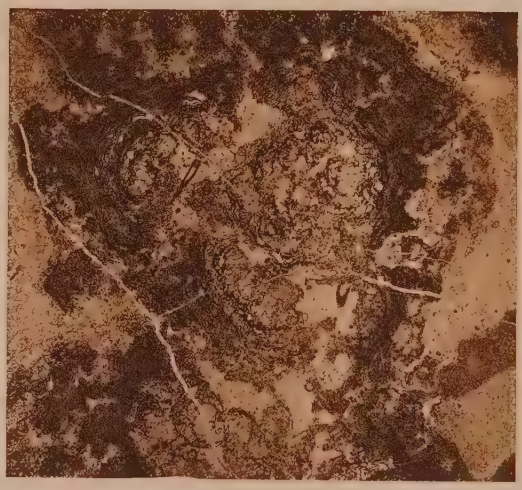
C'est un calcaire grenu fin à débris organiques (articles d'Echinodermes, Crinoïdes, Ostracodes).

Gr. : 10 diam.

52

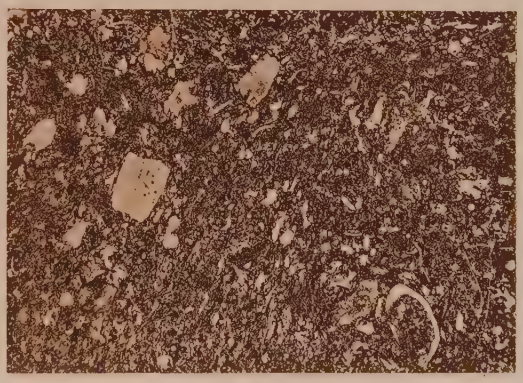


53



54

55



56

PLANCHE XVI.

MICROFAUNE.

I. - LES FORAMINIFÈRES GRANULEUX.

Fig. 57. — Calcaire de Foraminifères,

ainsi dénommé en raison de la prédominance et du nombre d'organismes de ce type dont on retrouve les restes dans le sédiment.

Tous appartiennent au groupe des Foraminifères granuleux ; outre les Granulosphères, la photographie montre des sections de *Textilaridae*, d'*Ammodiscus filum* (tube creux à parois granuleuses), d'*Ammodiscus* cf. *incertus* (cf. pl. XVI, fig. 59), et de nombreux *Endothyra*.

Gr. : 25 diam.

Fig. 58. — *Endothyra Bowmani*.

Espèce très dissymétrique : les premières chambres seules sont enroulées dans un même plan (un tour et demi environ). Un changement se produit alors dans le sens de l'enroulement qui se modifie à chaque tour (p. 116 et 122). Dans le bas, une Granulosphère typique (cf. p. 133 et pl. XVIII).

Gr. : 100 diam. environ.

Fig. 59. — *Ammodiscus* cf. *incertus* (pp. 118 et 123).

Foraminifère en tube non cloisonné, enroulé sur lui-même ; les tours successifs, régulièrement enroulés, sont normaux en direction au premier tour.

Gr. : 100 diam. environ.

Fig. 60. — Textilaire (p. 119).

Foraminifère agglutinant ayant aggloméré de petites Granulosphères. Il s'en observe trois dans la coupe.

Gr. : 100 diam. environ.

Fig. 61. — *Endothyra* coupé suivant un plan perpendiculaire au plan d'enroulement.

Forme légèrement dissymétrique, en disque biconcave, à test épais, dans la constitution duquel entrent des éléments étrangers (agglutinant).

Gr. : 100 diam. environ.

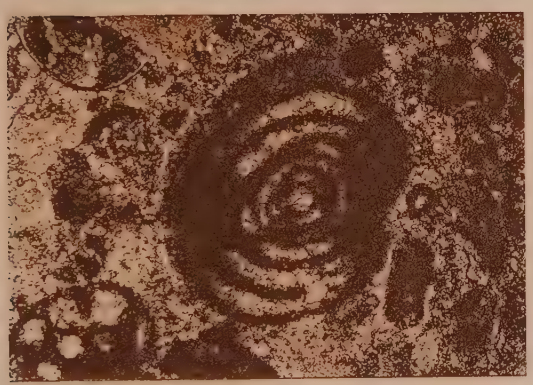
Fig. 62. — Deux *Endothyra* coupés parallèlement au plan d'enroulement.

La forme de gauche me paraît ressortir de l'espèce *Endothyra ammonoïdes* (pp. 117 et 118).

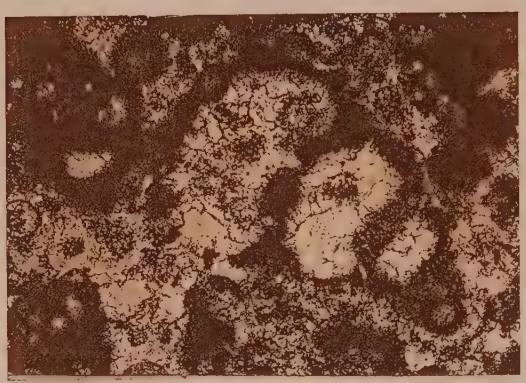
Gr. : 65 diam.

57

58

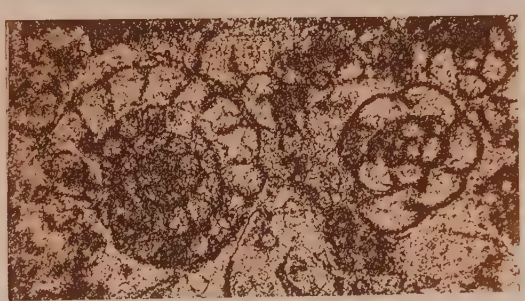


59



60

61



62

PLANCHE XVII.

MICROFAUNE.

II. - LES FORAMINIFÈRES GRANULEUX ET HYALINS.

LES TABULÉS ET LES BRACHIOPODES.

Fig. 63. — *Ammodiscus gordialis.*

Foraminifère, en tube non cloisonné et pelotonné sur lui-même (p. 119).

Gr. : 65 diam.

Fig. 64. — *Archaediscus Karreri.*

Foraminifère à test hyalin et à texture prismatique. Forme sphérique, à tours nombreux (6), surbaissés, et à enroulement dissymétrique (pp. 121 et 123).

Gr. : 65 diam.

Fig. 65. — *Archaediscus Karreri.*

Forme lenticulaire, à enroulement moins dissymétrique.

Gr. : 65 diam.

Fig. 66. — Test d'*Endothyra*, en partie périmé par suite d'un phénomène de recristallisation (diaclase).

Le test montre, vers le haut, une interruption dans sa texture granuleuse qui me paraît fortuite.

Gr. : 65 diam.

Fig. 67. — Calcaire de Tabulés (p. 144).

Presque exclusivement formés de débris de Tabulés, ces sédiments présentent, pour l'ordinaire, une structure schistoïde très caractéristique.

Gr. : 11 diam.

Fig. 68. — *Syringopora* vu en coupe transversale et entre nicols croisés.

La cavité centrale est remplie par une calcite secondaire en mosaïque. La paroi, de structure lamelleuse et de texture prismatique, montre, entre nicols croisés, la croix noire.

G. : 35 diam.

Fig. 69. — Coquille de Brachiopode.

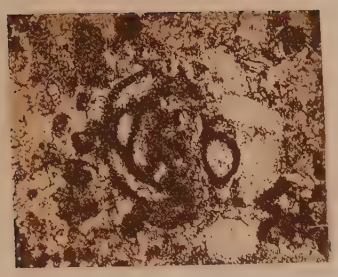
La valve qui porte le crochet montre deux couches: une couche lamellaire interne et une couche prismatique externe qui s'est déplacée et a glissé sur la première. Cette couche prismatique externe a disparu dans la presque totalité des cas (p. 160).

Gr. : 10 diam.

Fig. 70. — La même coquille à un grossissement supérieur,

mettant mieux en relief la texture prismatique de la couche externe et la texture lamellaire de la couche interne (p. 160).

Gr. : 28 diam.



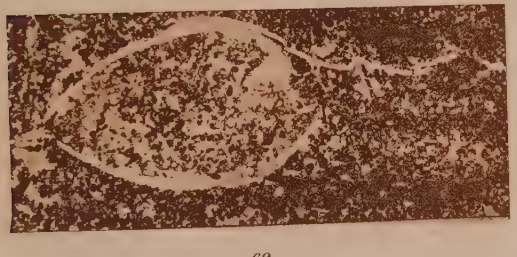
63

64

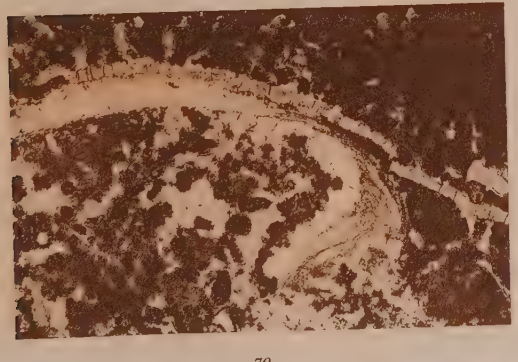
65

66

67



69



70

68

PLANCHE XVIII.

MICROFAUNE.

III. LES G. GRANULOSPHAERA, CYTOSPHAERA ET DIPLOSPHAERA.

LES OSTRACODES.

Fig. 71. — Calcaire de Granulosphères.

Outre des Granulosphères de toutes tailles, le sédiment renferme un certain nombre de Foraminifères du type *Endothyra*.

Gr. : 13 diam.

Fig. 72. — Microtexture des Ostracodes. — Différentes manières d'être (pp. 174 sq.).

De haut en bas, trois types s'observent : Ostracode à vide intervalvaire de calcite en mosaïque, à test périmé et remplacé par une auréole de calcaire granuleux (2 sections — cf. p. 176) — les valves seules sont conservées et leur texture est prismatique (en bas, à gauche — cf. p. 174) — Ostracode en amande ou noyau amygdalaire (en bas, à droite — cf. p. 175 et pl. XXIII, fig. 113).

Gr. : 30 diam.

Fig. 73. — *Granulosphaera laevis* (cf. *Calcisphaera laevis* Williamson).

A la faveur des fines particules charbonneuses qui les souillent, les canaux radiaires sont mis en évidence. Ils traversent de part en part le manchon cortical (p. 133,3).

Gr. : 90 diam.

Fig. 74. — *Granulosphaera laevis.*

Des lignes foncées à direction tangentielle, recoupées par des lignes ombrées à direction radiale (canaux radiaires de la figure 73), esquissent un réseau qui occuperait toute l'épaisseur du manchon cortical (p. 133,4).

Gr. : 90 diam.

Fig. 75. — *Granulosphaera laevis* vu en coupe tangentielle.

La coupe passe par le manchon granuleux sans intéresser la sphère centrale qui se laisse deviner par transparence (tache centrale plus claire). Les ponctuations noires représentent les sections transversales des canaux radiaires (p. 133,3).

Gr. : 90 diam.

Fig. 76. — *Cytosphaera cancellata* (cf. *Calcisphaera cancellata* Will.).

Sphère creuse de grande taille, à paroi mince de calcaire granuleux unie ou ornée de denticules, vestiges du treillage que l'on voit conservé dans la photographie 79.

Au voisinage de la sphère dont il vient d'être question: un *Ammodiscus* quelques Granulosphères de petite taille et, dans le coin nord-ouest, un *Endothyra.*

Gr. : 40 diam.

Fig. 77. — *Diplosphaera inaequalis* (p. 141).

Sphère creuse remplie de calcite en mosaïque et limitée, vers l'extérieur, par une paroi mince de calcaire granuleux. Cette sphère présente, en un point de sa surface, un bombement qui masque une sphère de petite taille emboîtée dans la grande. La paroi granuleuse, qui recouvre la grande sphère creuse, recouvre aussi la petite qui se montre remplie de calcaire granuleux.

Gr. : 40 diam.

Fig. 78. — *Granulosphaera laevis* cf. *Calcisphaera fimbriata* Will. (p. 133,2).

Gr. : 90 diam.

Fig. 79. — *Cytosphaera cancellata.*

Les exemplaires bien conservés montrent, sur le pourtour de la sphère, une couche de cellules cubiques ou rectangulaires. On observe, en outre, quelques Granulosphères de petite taille.

Gr. : 40 diam.

Fig. 80. — *Diplosphaera inaequalis* éclaté, ayant mis en liberté la petite sphère granuleuse (cf. photographie 77).

A côté, un *Ammodiscus* cf. *incertus* et, plus bas, deux Granulosphères de petite taille et un *Endothyra.*

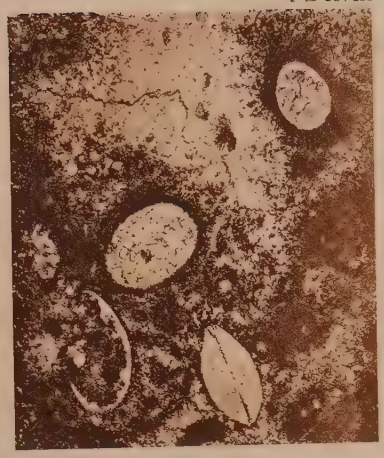
Gr. : 40 diam.

Fig. 81. — *Cytosphaera cancellata,*

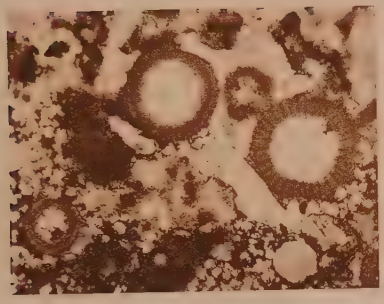
dont les cellules superficielles sont détruites et qui se trouve, de ce fait, transformé en une sphère épineuse. A comparer avec les photographies 76 et 79.

Gr. : 40 diam.

71

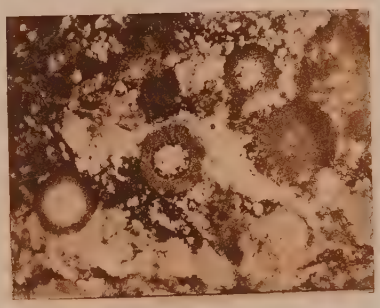


72

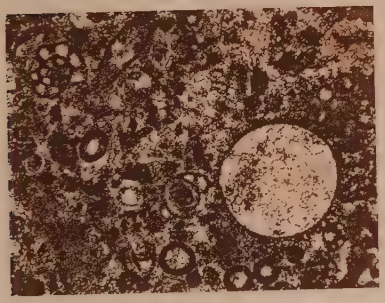


73

74

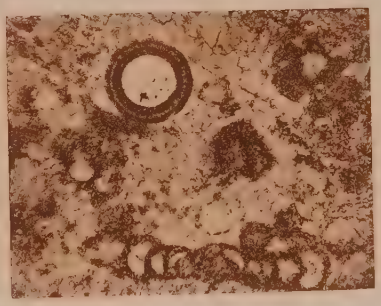


75

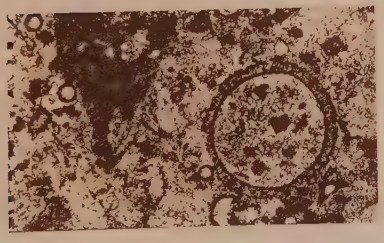


76

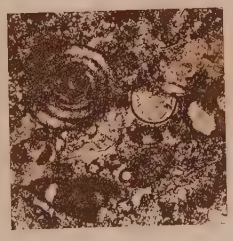
77



78



79



80

81

PLANCHE XIX.

MICROTEXTURE DES CÉPHALOPODES.

Fig. 82. — Calcaire de Céphalopodes superposé au Lunel Rubané n° 1 et provenant de la carrière des Marbres du Boulonnais (Hydrequent).

Quelques sections, les unes obliques (coin nord-est), les autres parallèles au plan d'enroulement. Dans le secteur sud-ouest, une section montre deux cloisons très nettes ; elle est reproduite à un grossissement supérieur dans la photographie 84.

Gr. : 9 diam.

Fig. 83. — Calcaire de même facies, provenant du même niveau stratigraphique mais originaire des environs de Namur (Namèche).

Il semble, d'après cette photographie, que les phénomènes de recristallisation aient fortement modifié la structure des organismes. Les cloisons entre autres semblent avoir été périmées ; quelques-unes sont conservées sous forme de lignes légères ombrées.

Gr. : 9 diam.

Fig. 84. — Section de Céphalopode, parallèle au plan d'enroulement.

Les deux couches qui constituent le test se distinguent nettement : l'extérieure, mince, se présentant sous forme d'un liseré blanc — l'intérieure, épaisse et granuleuse, prenant part à la constitution des cloisons et des parois des chambres (p. 165).

Gr. : 35 diam.

Fig. 85. — Céphalopode vu en coupe oblique.

Aucune cloison n'a été intéressée par la section. Contrairement à la photographie 84, la couche interne, granuleuse, paraît ici d'épaisseur moindre que la couche externe. C'est une simple apparence : à la couche interne appartient non seulement la zone noire granuleuse qui limite la cavité interne de la coquille remplie de calcite hyaline mais les écailles claires et sombres qui la recouvrent.

Gr. : 35 diam.

Fig. 86. — Microtexture de la coquille des Céphalopodes (portion de la photographie 84 vue en lumière naturelle et à un grossissement supérieur).

Les deux couches se distinguent très nettement l'une de l'autre, au moins dans la moitié droite de la photographie.

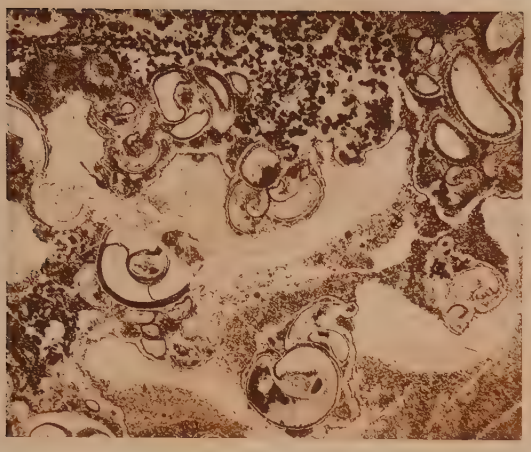
Gr. : 125 diam. environ.

Fig. 87. — Microtexture de la coquille des Céphalopodes vue en lumière polarisée.

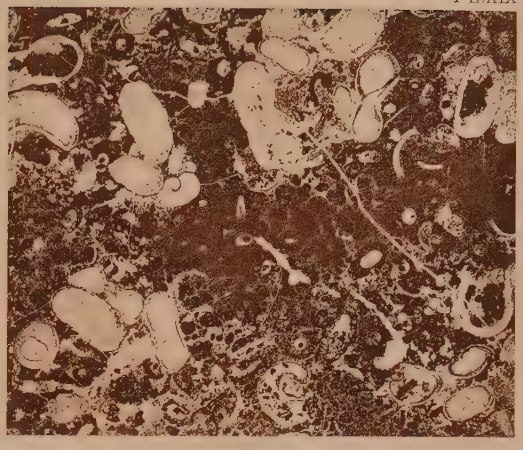
La couche externe est formée d'individus de calcite de petite taille, de forme irrégulière et sans orientation définie (couche celluleuse).

La couche interne est de structure lamelleuse ; sa texture serait de calcite en mosaïque masquée par des granulations de carbonate de calcium étirées en paillettes (p. 166).

Gr. : 125 diam.



82

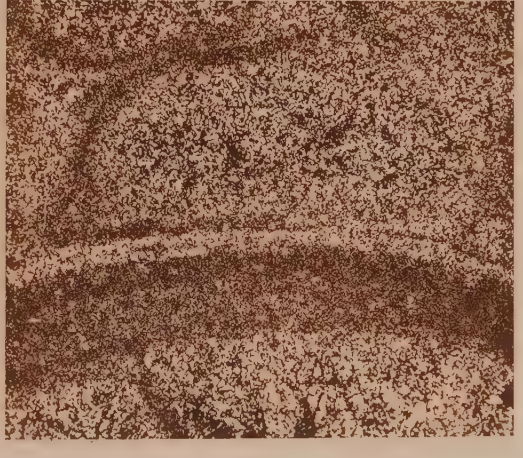


83

84

85

86



87

PLANCHE XX.

MICROTEXTURE DES CÉPHALOPODES (FIN)

Fig. 88. — Section de Céphalopode, à test épais, et toute entière d'aspect hyalin (p. 166).

La couche interne, granuleuse, n'existe pas ; un coup d'œil jeté sur la section qui occupe la moitié droite de la photographie, conduit à imaginer sa transformation par un phénomène de recristallisation.

Gr. : 35 diam.

Fig. 89. — Section de Céphalopode, montrant, dans sa moitié gauche, l'existence des deux couches.

La couche interne granuleuse montre, dans le haut de la photographie, une tendance à se résoudre en lamelles hyalines séparées par de fins liserés granuleux. Dans la moitié droite de la photographie, tout calcaire granuleux a disparu comme dans la photographie 88.

Gr. : 35 diam.

Fig. 90. — Portion grossie de la figure 88.

On distingue, à ce grossissement, la couche externe qui tranche sur la matrice par la finesse de son grain. La couche interne est toute entière hyaline.

Gr. : 100 diam. environ.

Fig. 91. — Test de Céphalopode, épais et hyalin, vu en lumière naturelle et à un fort grossissement.

La couche interne se résout en une série d'écailles ou lamelles ; sa texture n'a rien de net et doit être de fine mosaïque à éléments vaguement orientés (p. 169).

Gr. : 125 diam.

Fig. 92. — Le même, vu en lumière polarisée.

Du point de vue texture, il ne semble pas y avoir de différence entre la couche externe et la couche interne. Celle-ci réagit mal en lumière polarisée et doit être de fine mosaïque.

Gr. : 125 diam.

Fig. 93. — *Coeloceratioïdes fragilis* (du grec : κοῖλος, η, ον creux et τὸ κεράτιον, ου le cornet).

L'organisme, en forme de cornet rectiligne ouvert à ses deux extrémités, est vu ici en section transversale. Le cornet est très allongé et va en s'élargissant légèrement d'une extrémité à l'autre. Il est garni intérieurement d'une série de loges que l'on rencontre souvent dans les calcaires carbonifères (cf. pl. XVIII, fig. 71) en files linéaires.

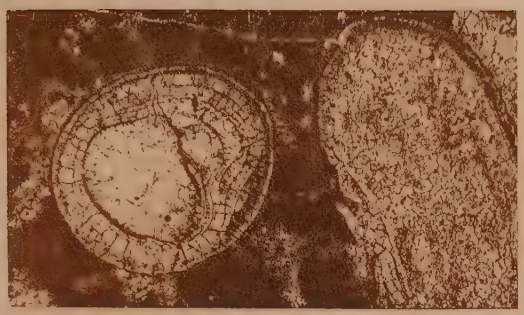
De la manière dont se présentent, pour l'ordinaire, les fragments de cet organisme, il semble légitime de déduire que l'organisme s'arrête à la base des loges et que la croûte qui le recouvre lui est étrangère et surajoutée.

Gr. : 10 diam.

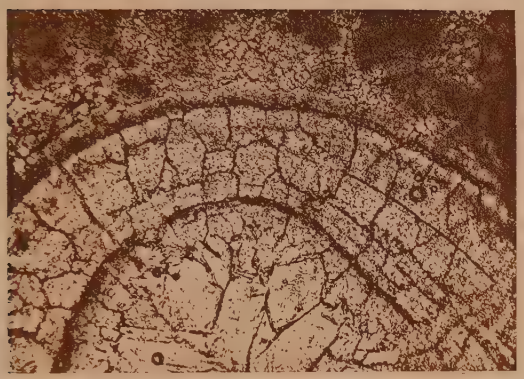
Fig. 94. — Le même, en coupe longitudinale,

montrant mieux la forme des logettes qui tapissent intérieurement le cornet.

Gr. : 10 diam.

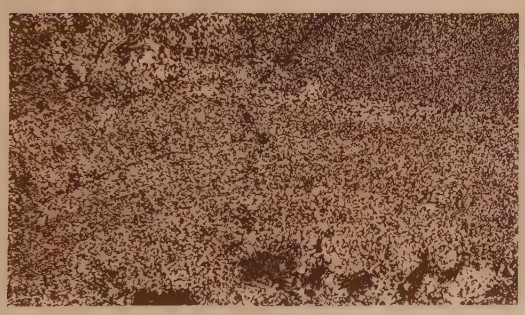


88

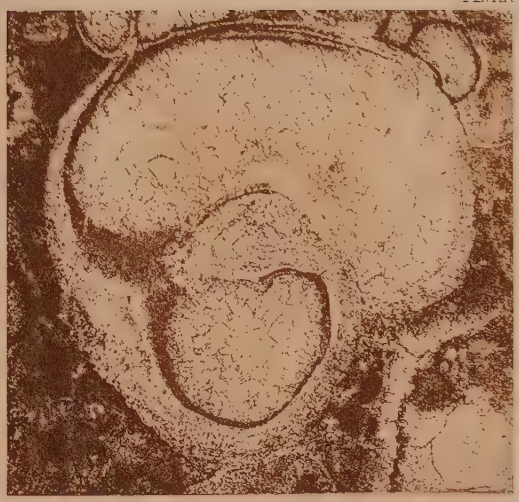


90

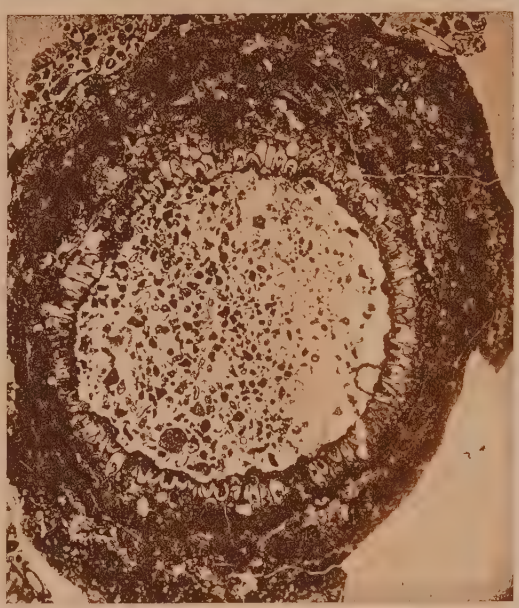
91



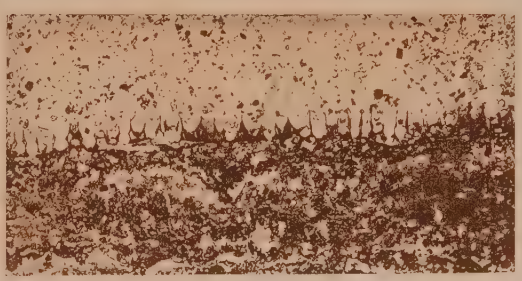
92



89



93



94

PLANCHE XXI.

LES CALCAIRES GRANULEUX.

Fig. 95. — Ruban de calcaire granuleux interrompant un sédiment fin de nature grumeleuse (p. 186).

Le ruban blanc offre en lame mince un aspect dépoli caractéristique. Il est formé d'individus de carbonate de calcium cristallisés en une très fine mosaïque ; il présente donc la texture granuleuse (p. 31). Il est le résultat d'un phénomène de recristallisation qui a modifié le sédiment originel, n'en laissant subsister que quelques vestiges sous forme de boyaux ou vermiculures granuleuses (organismes).

Gr. : 10 diam.

Fig. 96. — Ruban de calcaire granuleux, d'aspect dépoli caractéristique, séparant deux épisodes de nature diverse, l'un granuleux (inférieur) et l'autre grumeleux (supérieur).

Gr. : 10 diam.

Fig. 97. — « Calcaire en plaquettes » — Coupe à travers les petits bancs compacts (p. 187).

On pourrait hésiter entre un calcaire graveleux et un calcaire compact de texture granuleuse ; mais il y a probabilité plus grande pour le second facies. Le sédiment est chargé de débris organiques (radiole d'Oursin, esquilles de Brachiopodes) et plus ou moins dolomitisé suivant les places (points blancs).

Gr. : 10 diam.

Fig. 98. — « Calcaire en plaquettes ».

Coupe à travers un autre banc compact de texture graveleuse et fortement dolomitisé (ponctuations blanchâtres).

Gr. : 10 diam.

Fig. 99. — Plage de calcaire granuleux ayant pris la place de structures organiques.

Ces plages granuleuses à aspect dépoli caractéristique sont fréquentes dans le marbre Henriette et le marbre Pattes d'Alouettes.

A rapprocher de la photographie 28 de la planche VII.

Gr. : 10 diam.

Fig. 100. — « Calcaire en plaquettes » — Episodes détritiques ou organodétritiques, altérés et pulvérulents, qui séparent les bancs plus compacts de texture granuleuse ou graveleuse.

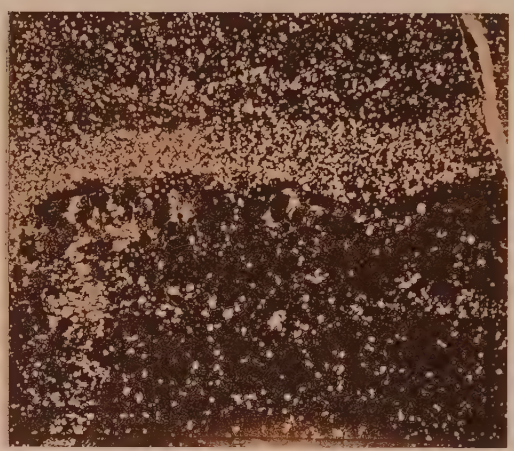
Il s'agit vraisemblablement d'un calcaire graveleux ; ce calcaire est recoupé dans le sens horizontal par de nombreux délits charbonneux.

Gr. : 10 diam.

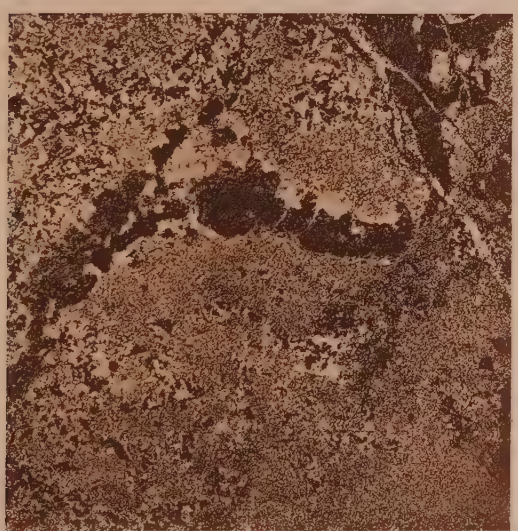
95

96

97



98



99

100

PLANCHE XXII.

LES CALCAIRES GRANULEUX (FIN) ET GRAVELEUX.

Fig. 101. — Partie supérieure d'un épisode granuleux interrompant un sédiment gravelo-oolithique (p. 191).

Les deux facies calcaires sont séparés par une ligne stylolithique. Au moment du dépôt des balles graveleuses et gravelo-oolithiques, la surface du calcaire granuleux devait être, au moins en partie, consolidée : il devait en être ainsi également des balles graveleuses et gravelo-oolithiques. En effet, on constate d'une part que les pointes stylolithiques ont pénétré les balles (deuxième balle en commençant par la gauche), d'autre part qu'au contact de la ligne stylolithique les éléments figurés ne sont pas déformés mais ont subi une sorte de fusion. La matrice du sédiment gravelo-oolithique est secondaire ; elle s'est élargie en recristallisant aux dépens de la matrice originelle et des éléments figurés.

Gr. : 30 diam.

Fig. 102. — Partie supérieure du même épisode granuleux vu en un autre point de sa surface.

On remarquera ici la pénétration, sans déformation, des éléments figurés du calcaire gravelo-oolithique dans le sédiment granuleux sous-jacent (p. 192).

Gr. : 30 diam.

Fig. 103. — Calcaire graveleux de structure grenue.

Les gravelles de calcaire granuleux sont éparses dans une calcite matricielle très développée.

Gr. : 10 diam.

Fig. 104. — Sédiment calcaire faisant le passage entre les calcaires graveleux et les calcaires grumeleux.

Ce sédiment se rapproche davantage des calcaires grumeleux ; il est formé en partie aux dépens d'organismes du type *Corydopodium*.

Gr. : 10 diam.

Fig. 105. — Calcaire graveleux de structure compacte.

La structure compacte résulte du phénomène bien connu de l'impressionnement et de la raréfaction consécutive de la matrice (p. 196).

Outre de nombreuses gravelles de calcaire granuleux, on remarquera : dans le secteur nord-est, un fragment d'Echinoderme et une esquille de Gastéropode — dans le secteur sud-ouest, un Foraminifère, quelques Granulosphères et une esquille de Gastéropode.

Gr. : 10 diam.

Fig. 106. — Le même sédiment graveleux, grossi et montrant mieux le phénomène de l'impressionnement (p. 196).

Dans le coin nord-ouest, un article de Crinoïde.

Gr. : 20 diam.

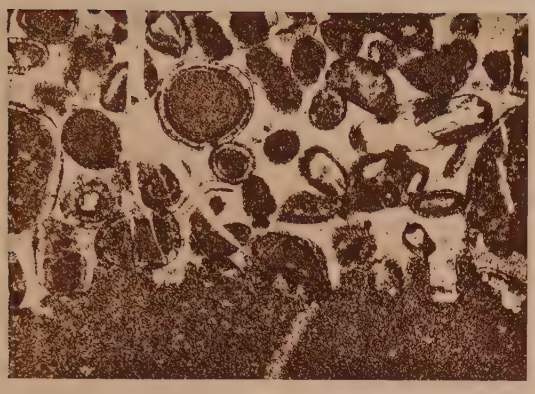
Fig. 107. — Calcaire gravelo-oolithique de structure grenue à caractère organique assez accentué.

Entre autres débris organiques, on remarquera un article de Crinoïde (secteur nord-ouest), un fragment de *Coeloceratioïdes* et une esquille de Gastéropode (au milieu, en bas), une radiole d'Oursin (coin sud-est).

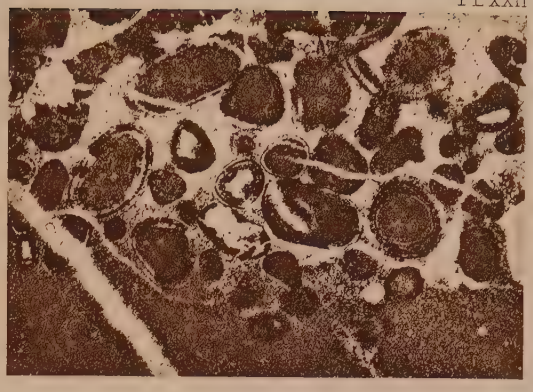
Gr. : 10 diam.

Fig. 108. — Calcaire gravelo-oolithique de structure grenue.

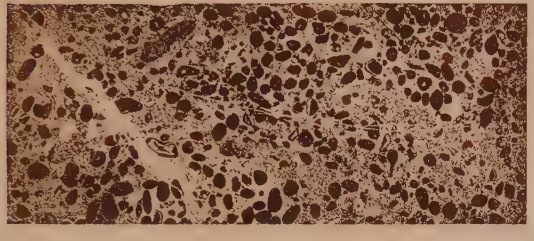
Gr. : 10 diam.



101

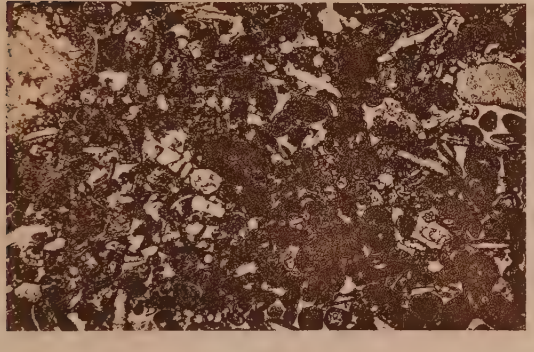


102

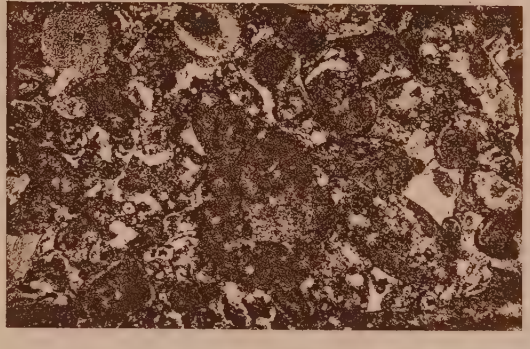


103

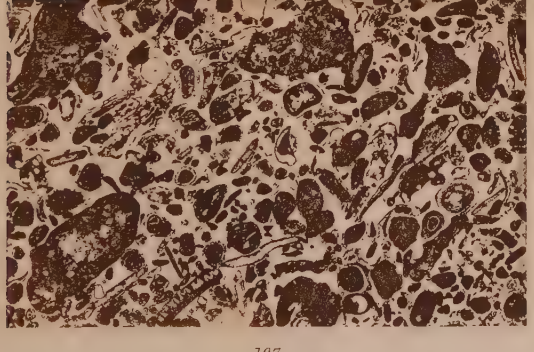
104



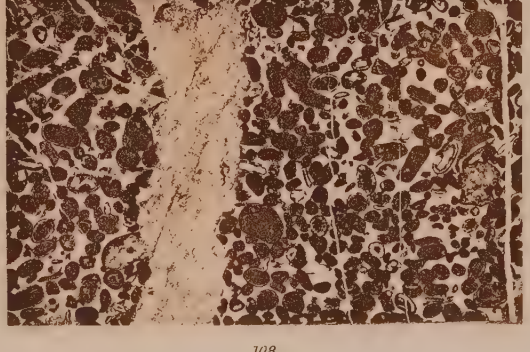
105



106



107



108

PLANCHE XXIII.

LES CALCAIRES OOLITHIQUES

A STRUCTURE ENTRECROISÉE ET A STRUCTURE RUBANÉE.

Fig. 109. — Calcaire oolithique à structure entrecroisée (oolithe à *Productus sublaevis* du Viséen inférieur de Landelies près Charleroi).

Les balles oolithiques sont espacées au sein d'une matrice très développée. La calcite matricielle s'est orientée sur les individus cristallins de l'oolithe, développant autour de chaque balle une auréole à texture prismatique. De place en place, subsistent des méats, comblés ultérieurement par de la calcite en mosaïque (p. 201).

Gr. : 30 diam.

Fig. 110. — Calcaire oolithique à structure entrecroisée et d'aspect compact à l'œil nu et à la loupe à main.

L'aspect compact est dû à un phénomène d'impressionnement, à l'interpénétration des éléments figurés. Quelques organismes sont visibles : Ostracodes et Granulosphères.

Gr. : 30 diam.

Fig. 111. — Calcaire oolithique à structure entrecroisée et d'aspect compact.

La compacité du sédiment résulte du remplissage des vides interstitiels par des grumeaux de petite taille. Remarquer par opposition à la figure 110, que les balles oolithiques sont fortement maculées de calcaire granuleux.

Gr. : 30 diam.

Fig. 112. — Calcaire oolithique provenant des niveaux oolithiques rubanés de Landelies (Belgique).

On remarquera la texture floue des oolithes moussues.

Gr. : 20 diam.

Fig. 113. — Calcaire oolithique à structure rubanée.

La croûte, de même nature et de même texture que celle des oolithes, sépare deux niveaux oolithiques d'aspect différent. Dans le niveau inférieur, les balles sont petites, peu développées et entassées les unes sur les autres ; au-dessus de la croûte, les balles sont plus évoluées. On remarquera, à ce niveau supérieur, l'abondance des Ostracodes (3 Ostracodes « en amande » cf. p. 175 et 1 valve d'Ostracode à texture prismatique).

Gr. : 20 diam.

Fig. 114. — Calcaire oolithique à structure rubanée.

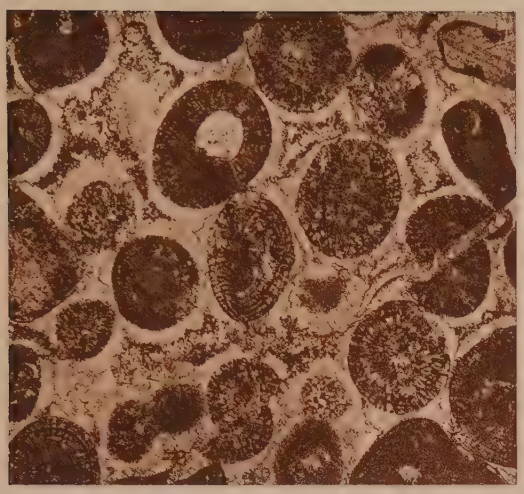
Des plages à oolithes peu développées, entassées ou même écrasées, peuvent donner naissance à de « faux rubans ».

Gr. : 20 diam.

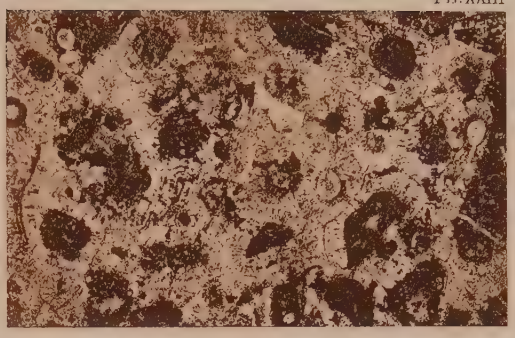
Fig. 115. — Calcaire oolithique à structure rubanée.

On remarque mieux, sur cette photographie, la structure des rubans de carbonate de calcium qui caractérisent ce facies.

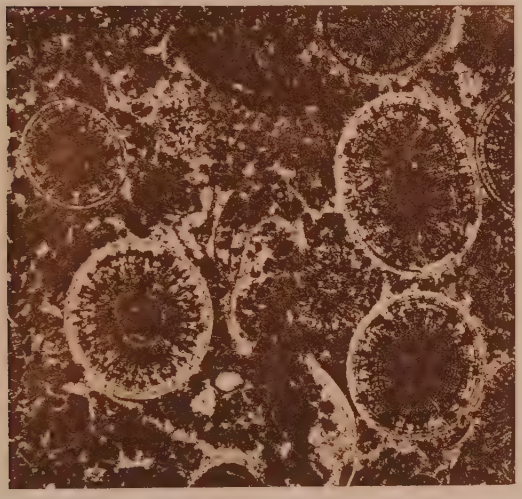
Gr. : 20 diam.



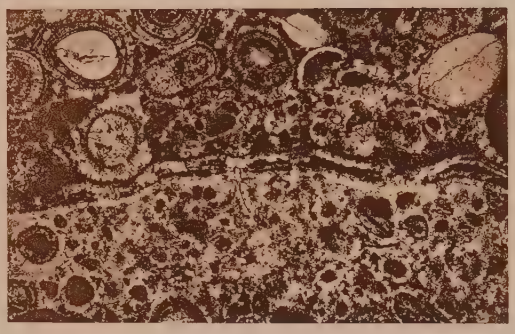
109



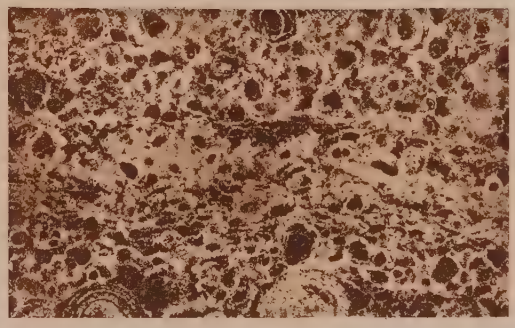
110



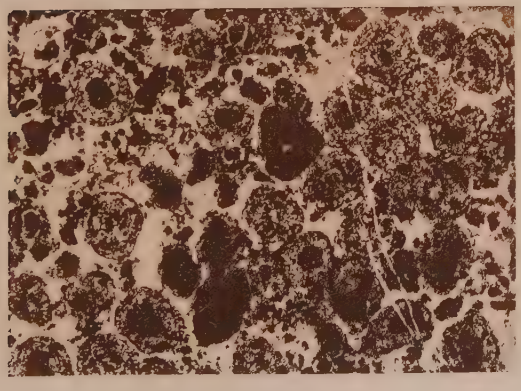
111



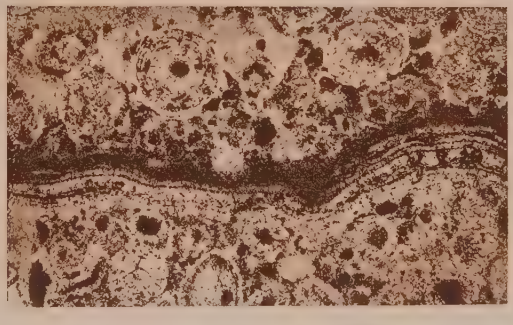
113



114



112



115

PLANCHE XXIV.

CALCAIRE OOLITHIQUE A GIRVANELLES.

CALCAIRES DOLOMITIQUES.

Fig. 116. — Calcaire oolithique à Girvanelles (provenant du Hure, d'une carrière aujourd'hui abandonnée).

Au centre, une balle oolithique ayant comme noyau un Ostracode en amande et un revêtement cortical à texture typique, concentrique et radiaire, légèrement modifiée par la présence des Girvanelles. On observe bien, en direction nord-est, des sections transversales et obliques de ces tubes organiques (p. 224). Remarquer un certain nombre d'éléments figurés qui ne présentent pas la structure caractéristique des oolithes et qui peuvent s'interpréter, soit, comme des sections orientées à travers des balles oolithiques, soit, comme des fragments roulés de Girvanelles (gravelles).

Les Ostracodes sont abondants, entiers, ou à l'état de valves.

Gr. : 30 diam.

Fig. 117. — Calcaire oolithique à Girvanelles.

La texture oolithique, radiaire et concentrique, est en partie périmée et remplacée par du calcaire granuleux (p. 226).

Gr. : 30 diam.

Fig. 118. — Même sédiment,

montrant des aspects divers des modifications apportées dans la texture oolithique par la présence des Girvanelles (pp. 224 sq.).

Gr. : 30 diam.

Fig. 119. — Calcaire dolomitique.

Dans le haut, les rhomboèdres de carbonate double étant isolés en milieu calcaire (calcaire plus ou moins dolomitique) sont bien formés.

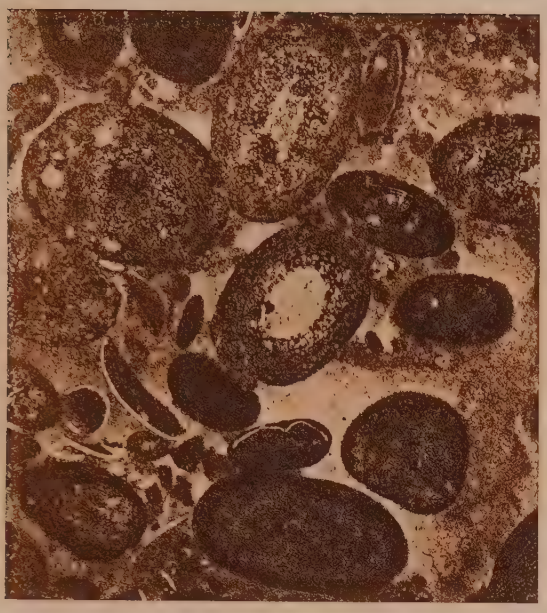
Dans le bas, ils sont engrenés les uns dans les autres et ne laissent subsister que peu de chose du calcaire (oolithique) originel. La partie inférieure se rapproche, comme texture, de la dolomie grenue.

Gr. : 30 diam.

Fig. 120. — Calcaire oolithique à structure entrecroisée dolomitisé.

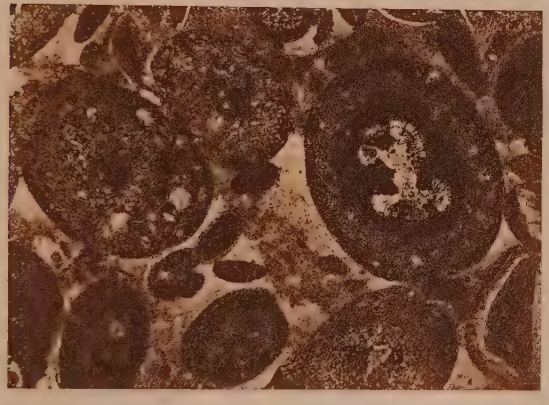
Le sédiment originel a disparu pour faire place à un amas de rhomboèdres de carbonate double engrenés les uns dans les autres. Quelques balles oolithiques persistent ; elles sont rongées en surface par les rhomboèdres de dolomite. Dans les portions altérées, le dessin de l'oolithe reste néanmoins visible sous la forme d'une ligne courbe ombrée.

Gr. : 30 diam.



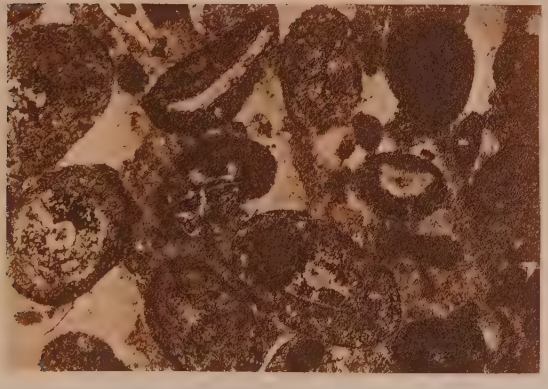
116

119



117

120



118

TABLES

TABLE DES FIGURES ET DES HORS-TEXTE.

Pages

1. Carte des affleurements carbonifères en Bas-Boulonnais ; position des principales carrières 4
2. Schéma explicatif de la structure tectonique du massif paléozoïque du Boulonnais 8
3. Coupe orientée nord-sud de Calais à Samer, montrant les principales dislocations hercyniennes 10
4. Carte géognostique du Bas-Boulonnais en 1823 (d'après Garnier) 23
5. Essai de reconstitution de *Polymorphocodium Lapparenti* 43
6. Organisme du marbre Henriette (*Polym. Lapparenti*), vu en coupe horizontale 44
7. *Polym. Lapparenti* sectionné, rendant mieux compte de l'allure en lames sinueuses et des digitations verticales 45
8. Bloc perspectif schématisant la morphologie de *Polym. Lapparenti* 45
9. Bloc perspectif schématisant la microtexture de *Polym. Lapparenti* 47
10. Marbre Napoléon Tigré, dit « Pattes d'alouettes », reproduisant, par la superposition de sept clichés, les nuances naturelles du marbre 56
11. Marbre rubané du type « Caroline » 66
12. Marbre « Rubané Notre-Dame », reproduisant, par la superposition de sept clichés, les nuances naturelles du marbre 80
13. *Mitcheldeania zonata* n. sp., vu en coupe verticale 87
14. *Mitcheldeania capnostyloïdes* n. sp. (« Bouffées de pipe »), vu en coupe verticale 97
15. *Stylocodium rhopaloïdes* nov. gen. (« Gra'mères »), vu en place et reconstitué 103

Pages

16. Quelques sections d'*Endothyra* 117
17. *Ammodiscus cf. incertus,* vu en coupe perpendiculaire à l'enroulement 119
18. Les types « Textilaire » 120
19. Jeune *Endothyra* 122
20. Enroulement chez *Archaediscus Karreri* Brady 123
21. Microtexture de *Granulosphaera laevis* 133
22. Microtexture des Tabulés 146
23. Structure de la coquille chez *Productus semireticulatus* 152
24. Structure de la coquille chez *Prod. pustulosus* 153
25. Structure de la coquille chez *Orthis resupinata* 154
26. Structure de la coquille chez *Spirifer Verneuilli* 145
27. Structure de la coquille chez *Spir. tornacensis* 155
28. Structure de la coquille chez *Spirigera globularis* 156
29. Structure de la coquille chez *Athyris Levellei* 157
30. Quelques types d'esquilles d'Ostracodes 173

TABLE DES PLANCHES.

I. Carrière de la Vallée Heureuse et carrière des Marbres du Boulonnais (Hydrequent).

II. Le marbre Henriette, construit par *Polymorphocodium Lapparenti* nov. gen.

III. Microtexture de *Polymorphocodium Lapparenti.*

IV. *Polymorphocodium Lapparenti ;* sa comparaison avec *Sphaerocodium gotlandicum* Rothpletz.

V. Le marbre Napoléon Tigré, dit « Pattes d'alouettes », construit par *Corydopodium Pruvosti* nov. gen.

VI. Structure du thalle de *Coryd. Pruvosti.*

VII. *Coryd. Pruvosti ; thalle floculent, thalle en voie de dégénérescence.*

VIII. Les marbres rubanés : le marbre Caroline ; le marbre Rubané Notre-Dame.

IX. Le marbre Caroline ; le marbre Lunel uni.

X. Le « Lunel fleuri » du banc Parisien n° 2 vue d'ensemble.

XI. Les cordons coquilliers du banc Parisien n° 2 : *Mitcheldeania zonata* n. sp.

XII. Le Lunel fleuri du banc Parisien n° 2.

XIII. Les « Bouffées de pipe » ; le marbre Napoléon Grand Mélange.

XIV. Niveau organique de la partie supérieure du Napoléon Grand Mélange : *Stylocodium rhopaloïdes* nov. gen.

XV. Microtexture de *Stylocodium rhopaloïdes ;* le marbre Joinville.

XVI. Etude de la microfaune : Foraminifères granuleux.

XVII. Etude de la microfaune : Foraminifères granuleux et hyalins — Tabulés, Brachiopodes.

XVIII. Etude de la microfaune (fin) : *Granulosphaera laevis* nov. gen., *Cytosphaera cancellata* nov. gen., *Diplosphaera inaequalis* nov. gen.

XIX. Structure et texture des Céphalopodes.

XX. Structure et texture des Céphalopodes (suite) — *Coeloceratioïdes fragilis* nov. gen.

XXI. Le calcaire granuleux.

XXII. Le calcaire granuleux (fin) — le calcaire graveleux.

XXIII. Les calcaires oolithiques.

XXIV. Calcaire oolithique à *Girvanella* — calcaires dolomitiques.

TABLE DES MATIÈRES.

AVANT-PROPOS IX
INTRODUCTION
Le pays boulonnais ; le Bas Boulonnais 1
Le Carbonifère dans le Bas Boulonnais
Les roches carbonifères, leurs gisements 3
Aperçu stratigraphique ; historique 4
Aperçu sur la tectonique du terrain carbonifère 7

PREMIÈRE PARTIE.

LES MARBRES DU BOULONNAIS.

CH. I. — LES MARBRES DU BOULONNAIS ; HISTOIRE DE LEUR EXPLOITATION.

Les marbres en général 15
Les marbres du Boulonnais : marbres dévoniens ; marbres carbonifères (viséens), les seuls dont il sera question dans ce travail 16
Histoire de leur exploitation, esquissée :
d'après les **documents historiques ;**
place importante qu'y occupent la « pierre de Marquise » (oolithe jurassique), les marbres exotiques flamands et italiens (marbre de Namur, marbre de Gênes) 18

Il y est fort peu question des marbres du Boulonnais (marbre jaspé d'Elinghen) 20
d'après les travaux géologiques:
GUETTARD et MONNET (1780), GARNIER (1823), BERTRAND (1829) 21
Conclusions :
Les origines de l'exploitation marbrière en Boulonnais remontent au 18e siècle (vers 1780) 25
Au 19e siècle, premier essor sans lendemain : la Colonne Napoléon ; période des petites exploitations (les Carriérettes) 27
Essor actuel résultant du développement du réseau ferroviaire, de la constitution de sociétés à gros capitaux, du déséquilibre des devises, du perfectionnement de l'outillage 28

CH. II. — LES CALCAIRES VISEENS ; PLACE QU'OCCUPENT LES MARBRES DANS LA SERIE SEDIMENTAIRE.

Principaux facies calcaires :
Calcaire granuleux et calcaires grenus ;
sédiments calcaires à éléments figurés : calcaire grumeleux, graveleux et calcaires oolithiques ;
calcaire rubané et calcaire zonaire ;
dolomie et calcaires dolomitiques 31
Tableau de la succession stratigraphique du Viséen moyen et supérieur ; place qu'y occupent les marbres 34

CH. III. — LE MARBRE HENRIETTE.

Son histoire ; ses gisements : facies nord, facies sud 40
L'organisme ; sa morphologie, sa structure 43
Portions centrales sombres à gros tubes ondulés et enchevêtrés ; liserés blancs, opaques, très chargés de calcaire granulèux, à vermiculures de tout petit calibre 46
Quelques particularités de la texture : ampoules, corps sphérique 48
Interprétation biologique 50
Classification 51
Conclusion : *Polymorphocodium Lapparenti* nov. gen. est une algue calcaire de la famille des Codiacées 54

CH. IV. — LE MARBRE NAPOLEON TIGRE, DIT « PATTES D'ALOUETTES ».

Le marbre Napoléon ; ses variétés 55

Les marbres Napoléon Tigré et Napoléon Gris
L'organisme
Thalle s'accroissant par bourgeonnement ; formation des bourgeons, origine des vacuoles et interprétation du rôle joué par elles, formation et rôle des bâtonnets 56
De position systématique incertaine, *Corydopodium Pruvosti* nov. gen. est à classer parmi les algues inférieures 62

CH. V. — MARBRE CAROLINE.

Position stratigraphique et gisements 65
Description
Rubans 68
Grumeaux 69
Organismes : *Corydopodium laminare* 70
Comparaison avec les Spongiostromides de Gürich ; différences et rapprochements 72

CH. VI. — LUNEL RUBANE N° 1 OU NOTRE-DAME 79

CH. VII. — MARBRE LUNEL.
Vue d'ensemble 82
Description détaillée du banc Parisien n° 2.

LUNEL UNI 85

Organisme tubulaire à tubes verticaux divergents, tour à tour réguliers et de diamètre réduit, ou dilatés et variqueux.
Reproduction par division dichotome 85
Interprétation de la périodicité — rôle des ampoules 88
Affinités : *Zonotrichites, Mitcheldeania* 89
Mitcheldeania zonata nov. sp.

LUNEL FLEURI.

Description des « bouffées de pipe » 96
Mitcheldeania capnostyloïdes nov. sp. 97

CH. VIII. — MARBRE « NAPOLEON GRAND MELANGE ».

Brèche de calcaires rubanés dans le bas, d'organismes dans le haut 100

Niveau organique supérieur : les « Gra'mères »

Description 102

Classification et rapprochements 105

Napoléon Grand Mélange et Grande Brèche du Calcaire carbonifère belge 106

CH. IX. — MARBRE JOINVILLE ET MARBRE NOIR DE RETY 109

DEUXIÈME PARTIE.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE DES ORGANISMES.

INTRODUCTION 113

CH. I. — LA MICROFAUNE DES CALCAIRES CARBONIFERES DU BOULONNAIS. — LES FORAMINIFERES.

Les Foraminifères granuleux :

G. *Endothyra* 115

G. *Ammodiscus*. — *Ammodiscus* et *Trochammina* 118

Les *Textilaridae* 119

Les Foraminifères hyalins : *Archaediscus* 121

Etude de la microtexture du test chez les Foraminifères granuleux:

Opinions diverses : Brady, von Möller, Steinmann, Schellwien, Zittel, Sollas, J. de Lapparent 124

Faits d'observation 127

Conclusion : Plus probablement, les Foraminifères granuleux sont des agglutinants 128

Appendice : Le calcaire granuleux ; origine des granules de carbonate de calcium 129

CH. II. — ETUDE DE LA MICROFAUNE (SUITE). — LES GRANULOSPHERES. — LES GENRES CYTOSPHAERA ET DIPLOSPHAERA.

Les Calcisphères 131

G. *Granulosphaera* (*Granulosphaera laevis*).
Description : Balles creuses, à paroi épaisse de calcaire granuleux traversée par des canaux radiaires 132
Classification indécise 134
Conclusion 138
G. *Cytosphaera* (*C. cancellata*).
Différentes formes qu'on peut y ramener 139
G. *Diplosphaera* (*D. inaequalis*) 141

CH. III. — LES TABULES.

Le Tabulé ; les calcaires de Tabulés 143
Microtexture :
Syringopora 145
Petites formes 146
Conclusion: Distinction des fragments d'Echinodermes et de Tabulés en lame mince 148

CH. IV. — LES BRACHIOPODES. — ETUDE DE LA MICROTEXTURE CHEZ :

Productus semireticulatus 151
Productus pustulosus 153
Orthis resupinata 154
Spirifer Verneuilli.
Spirifer tornacensis 155
Spirigera globularis 156
Athyris Levellei 157
Conclusions : La structure des Brachiopodes paraît plus complexe qu'on ne l'avait cru jusqu'ici (Zittel, Cayeux, J. de Lapparent) 159

CH. V. — LES CEPHALOPODES.

Etude d'un naissain de Céphalopodes ; gisement d'Hydrequent (Boulonnais) et de Namèche (Belgique) 163
Microstructure et microtexture :
Faits d'observation — 3 cas :
1er cas : Sections à couche externe hyaline et à couche interne granuleuse.
2e cas : Sections à test épais, homogène et tout entier d'aspect hyalin.
3e cas : Sections à zones alternativement hyalines et granuleuses 165
Opinions des auteurs : Carpenter, Zittel, M. L. Cayeux 167

Conclusions : 168
Céphalopodes et Serpules 169
Nautiloïdes ou Ammonoïdes? 171

CH. VI. — LES OSTRACODES.

Microtexture — 3 cas :
1er cas : Ostracodes réduits à leurs valves.
2e cas : Ostracodes «en amande».
3e cas : Ostracodes à coquille périmée et tout entiers de calcite secondaire en mosaïque 174
Les sédiments calcaires à Ostracodes 177

CH. VII. — LES ALGUES.

Algues inférieures sans structure cellulaire :
Corydopodium 178
Algues en tube du type des Siphonées: *Polymorphocodium, Mitcheldeania, Stylocodium* 179

TROISIÈME PARTIE.

ÉTUDE MICROGRAPHIQUE DES CALCAIRES.

INTRODUCTION 183

CH. I. — LE CALCAIRE GRANULEUX.

Définition 185
Principaux types de calcaire granuleux ; interprétation du processus de leur formation 186

CH. II. — LE CALCAIRE GRAVELEUX.

Définition ; la gravelle 194
Manières d'être des calcaires graveleux :
graveleux à matrice très développée (à structure grenue) 195
graveleux à matrice presque inexistante (à structure compacte) 196
Mode de formation 198

CH. III. — LES CALCAIRES OOLITHIQUES.

Définition ; l'oolithe 199
Description des sédiments oolithiques :
oolithes à structure entrecroisée 200
oolithes rubanées 203
Conditions de dépôt 206
Origine et formation des oolithes :
Théorie inorganique :
précipitation chimique du carbonate de calcium à partir d'eaux bicarbonatées (DE LA BECHE, SEELEY, M. LACROIX) 208
formation par double substitution (LINCK) sous l'influence des organismes (VAUGHAN, DREW, BROWN) 210
orientation des particules d'une substance lors du passage de l'état colloïdal à l'état cristallin (SCHADE, BÜCHER) 214
Théorie organique :
L'oolithe serait le produit de l'activité propre et directe d'organismes divers :
Algues (ROTHPLETZ, WETHERED, KALKOWSKY, VAN TUYL, J. DE LAPPARENT) 215
Foraminifères (L. DANGEARD) 217
Conclusions.

CH. IV. — ROLE JOUE PAR LES ORGANISMES DANS LA CONSTITUTION DES OOLITHES.

Les Girvanelles 220
Conceptions en présence touchant le rôle des Girvanelles :
les Girvanelles, organismes constructeurs (WETHERED) .. 221
les Girvanelles, organismes destructeurs (M. CAYEUX) .. 222
Rapports des Girvanelles avec la texture oolithique ; principaux aspects réalisés, leur interprétation 223
Conclusions générales touchant les calcaires oolithiques 227

CH. V. — LES CALCAIRES MAGNESIENS.

Les dolomies du Calcaire carbonifère du Boulonnais 230
Les bancs dolomitiques à Lithostrotion Martini :
leur caractère épisodique 231
leurs facies : dolomie grenue, calcaire dolomitique, calcaire ponctué de dolomite 232

Conclusions : La dolomitisation est :
indépendante des facies et des faunes 236
contemporaine du dépôt des sédiments qu'elle modifie 237
différemment expliquée par les auteurs (CLÉMENT, SKEATS, PFAFF, PHILIPPI) 238
elle paraît en rapport avec des mouvements d'affaissement du fond marin 240

CH. VI. — LA SILICE ET SES PRINCIPALES MANIERES D'ETRE DANS LES CALCAIRES.

Quartz de néoformation 242
Quartz et calcédonite épigénisant les fragments organiques : Polypiers, Brachiopodes, Ostracodes 243
Silex 245
Appendice : Feldspath de néoformation du type albite 246

CONCLUSIONS GENERALES 247

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE SOMMAIRE 251

PLANCHES 261

TABLE DES FIGURES 311

TABLE DES PLANCHES 313

TABLE DES MATIERES 315

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

Zoologie :

Dimorphisme et cycle de développement chez les Foraminifères.

Botanique :

Les Siphonales.

Vu et approuvé :
Strasbourg, le 20 Janvier 1931
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
E. ROTHÉ.

Vu et permis d'imprimer :
Strasbourg, le 28 Janvier 1931.
Le Recteur de l'Académie,
CH. PFISTER.

IMPRIMERIE O. BŒHM - STRASBOURG